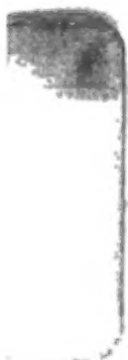
Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

ELEMENTA MATHESEOS UNIVERSÆ.

J. L. De Praytorrens.

TOMUS II.

QUI

MECHANICAM CUM STATICA, HYDROSTATICAM, AEROMETRIAM ATQUE HYDRAULICAM COMPLECTITUR.

AUCTORE

CHRISTIANO L. B. DE WOLFF,

POTENTISSIMI BORUSSORUM REGIS CONSILIARIO INTIMO, FRIDERICIANÆ CANCELLARIO ET SENIORE, JURIS NATURÆ ET GENTIUM ATQUE MATHEMATUM PROFESSORE ORDINARIO, PROFESSORE PETROPOLITANO HONORARIO, ACADEMIÆ REGIÆ SCIENTIARUM PARISINÆ, LONDINENSIS AC BORUSSICÆ MEMBRO.

10

100

12

EDITIO NOVA

MULTO AUCTIOR ET CORRECTIOR;

CUM PRIVILEGIO SACRÆ CÆSAREÆ MAJESTATIS ET POLONIARUM REGIS ET SAXONIÆ ELECTORIS.

HALÆ MAGDEBURGICÆ,

PROSTAT IN OFFICINA LIBRARIA RENGERIANA

ANNO MDCCXLVIII.

Digitized by Google

Digitized by Google

PRÆFATIO.

Nova hæc Matheſeos elementa eo fine conſcripſimus, ut Mathematum cultores palmarias Matheſeos univerſæ veritates labore facili intra breve temporis ſpatium ſibi familiares reddere ac methodi verioris ideam lucidam animo comprehendere valeant: ita enim futurum confidimus, ut ad legendos quosvis Autores, qui de rebus mathematicis commentati ſunt, apti efficiantur,

Digitized by Google

antur, & judicio pollentes ad quascunque a Mathesi diversas scientias severius & fructuosius tractandas accedant. Atque eodem consilio novæ huic Elementorum editioni plurima adjeci, quæ in priore non leguntur, ut adeo totum opus in duos tomos divisum antea, in quinque nunc secari opus fuerit. Prodit jam Tomus secundus, qui Mechanicam, Hydrostaticam, Aërometriam & Hydraulicam complectitur, atque adeo motum & æquilibrium solidorum ac fluidorum exponit. Veteres, præeunte ARCHIMEDE in libris de æquiponderantibus & insidentibus humido, ultra æquilibrium gravium non progressi sunt, primusque fuit GALILÆUS, qui eorum inventis aliquid addere ausus motum gravium ad notiones distinctas & fœcundas revocavit, usum curvarum in cognitione Naturæ mathematica clarissimo specimine demonstrans. Patebat jam magis via ad mathe-

mathematicam Naturæ cognitionem, & Geometria indivisibilium uberius exculta tandemque ad Analysin certam revocata obtinebatur, ut sublimiora ingenia ad veritates maxime abstrusas atque abditas accederent. Admiranda igitur de motu solidorum ac fluidorum hodie prostant inventa, sed ita ab inventoribus proposita, ut ab iis tangendis arceantur tyrones & quotquot in Mathesi consenescere, omneque tempus suum consumere prohibentur. Nostrum fuit præcipua illa inventa, quibus in Mathesi non datur sublimius, cum primis principiis evidenter connexa proponere, ut, qui sedato animo in elementis nostris tractandis progreditur eo, quo conscripta sunt, ordine, illa eadem facilitate perspiciat, qua, quæ facillima erant, in anterioribus perspexerat. Ea de causa Mechanica inprimis & Hydraulica plurimis accessionibus in nova hac editione

Digitized by Google

aucta. Ita theoriam de motu gravium effecimus generalem, ut, cum in priore editione tantummodo cum GALILÆO motum uniformiter acceleratum expofuerimus, nunc ad accelerationem quacunque lege factam illam extenderimus. Addidimus methodos inveſtigandi centrum gravitatis in ſpatiis mixtilineis & in perimetris figurarum rectilinearum, tendentiamque mediam in motu compoſito, ut alia taceamus. Integrum caput octavum de deſcenſu & aſcenſu corporum in lineis curvis, quod præclara maxime continet ævi hujus inventa, loco conveniente inſeruimus. Theoriam de motu penduli ex ſublimioribus inventis effecimus uberiorem: id quod etiam circa theoriam de centro oſcillationis curæ nobis cordique fuit. Eadem nobis dicenda ſunt de motu projectorum & de motu corporum ex percuſſione. Inprimis autem theoria de viribus centralibus

uberri-

Digitized by Google

uberrime a nobis pertractata, cujus antea primas tantummodo lineas duxeramus. Caput decimum quartum integrum de resistentia medii nunc demum accedit. Non commemoramus ea, quæ passim adspersa a nobis fuere: qua de causa de Hydrostaticæ & Aërometriæ accessionibus specialiora non proferimus. Hydraulicæ tandem theoriam non uno modo reddidimus ampliorem, eamque duobus integris capitibus de cursu fluminum & de percussione fluidorum auximus. Ac hoc pacto finem, quem intendimus, nos consecutos esse speramus. Cur ex intervallo demum prodeat Tomus secundus, causæ in vulgus notæ sunt, ut de iis dicere supervacaneum existimem. Operam daturi sumus, ut Tomus tertius, etsi mole secundum superaturus, celerius sequatur, si Deo ita visum fuerit. Nullus vero dubito non defuturam in hoc secundo

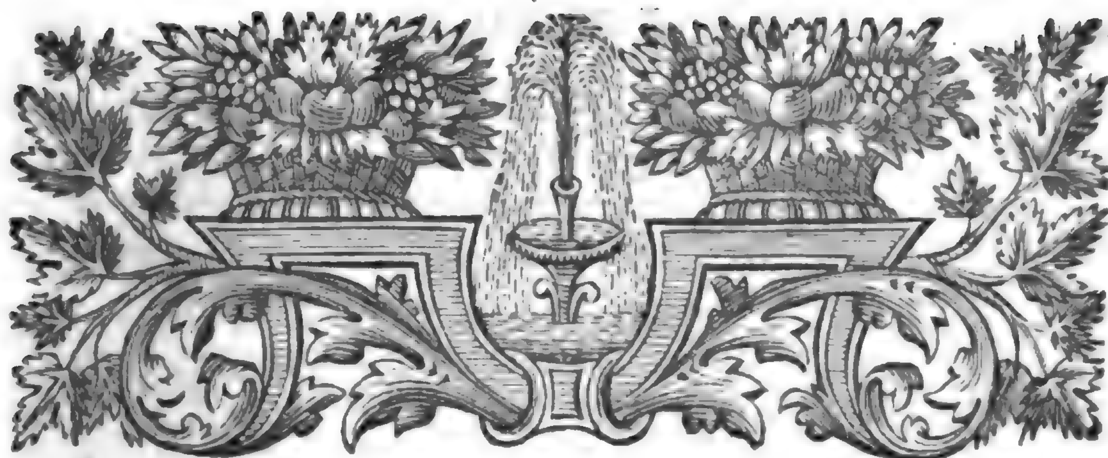
Tomo

Tomo materiam, in qua interea industriam ſuam exerceant Mathematum cultores, donec tertius comparuerit. Continentur in hoc Tomo, quæ ad Naturæ cognitionem magnum momentum afferunt: utut ingens quoque eorum farrago ſit, quæ ad vitæ non minus jucunditatem, quam neceſſitatem utilia. Quotquot igitur animum habent ſciendi cupidum, ex materiis, de quibus hic inſtitutur tractatio, plurimum voluptatis percipient. Neque ullus dubito fore, ut, qui cum attentione in iis discutiendis verſati fuerint, artem inveniendi ipſo uſu ſibi ſint comparaturi, qua deinceps extra Matheſin feliciſſime utentur. Dabam Marburgi Cattorum die 28. Martii A. 1733.

ELE-

Digitized by Google

ELEMENTA
MECHANICÆ
ET
STATICÆ.



PRÆFATIO.

A Pleriſque Autoribus, qui Mechanicæ elementa in uſum tyronum explicarunt, non omnis motus ratio habetur, ſed ejus tantum, qui vel virium, vel temporis aliquo compendio ope machinarum perficitur. Nec improbandum eſt eorum inſtitutum, ſi quidem plura docere non intendunt, quam quæ in conſtruendis & examinandis machinis uſum præbere poſſunt. Quoniam tamen nobis conſtitutum eſt, Matheſeos elementa dare non modo ad uſum vitæ humanæ, ſed & ad profectum ſcientiarum, Phyſicæ præſertim, ſufficientia; ideo conſultum duximus, ut de iis quoque tractaremus, quæ ad illuſtrandam motus doctrinam hactenus inventa. Hæc enim neceſſaria ſunt ad Naturæ cognitionem, ut ſine iis certa obtineri nunquam poſ-

ſit, cum in motu plurimorum phænomenorum ratio contineatur. Ipſarum vero etiam machinarum conſideratio minime negligenda ab eo, qui cum laude in phyſicis aliquando verſaturus, cum motus corporum organicorum explicatio fruſtra ſine his principiis tentetur. Quanta felicitatis humanæ pars motuum ſcientiæ ſuperſtruatur, experientia clariſſime loquitur. Huic enim acceptum ferimus, quod pecudes & corpora inanimata peragant, quæ nos neceſſitatibus vitæ humanæ impulſi non ſine maximo ſudore perageremus. Eum igitur in finem non ſolum machinarum ſimplicium (quod vulgo fieri ſolet) rationem omnem fideliter expoſui; verum etiam hinc inde annotavi, quæ ad earum conſtructionem ſcitu neceſſaria ſunt, & deſideratam hactenus in iſtiusmodi elementis tractationem de potentiarum ad machinas applicatione addidi. Quos rerum naturalium cognitio parum juvat, his ſolis contenti præterire poſſunt motus regulas: machinarum enim vires ſine iis plerumque plene intelligent. Quamvis vero nonnulli Staticam a Mechanica ſejungant; conſultius tamen viſum fuit ſororio vinculo utramque connecti, cum ita demonſtrationes nexu pulchriori concatenare liceret.

ELE-

Digitized by Google

ELEMENTA MECHANICÆ.

CAPUT I.

DE MOTU ÆQUABILI.

DEFINITIO 1.

1.

Mechanica est scientia motus. *Staticam* vocant nonnulli ejus partem, quæ de æquilibrio solidorum agit.

DEFINITIO 2.

2. *Quies* est permanentia corporis in eodem loco. *Motus* vero est continua loci mutatio.

SCHOLION.

3. Moveri *nempe dicitur corpus, si successive aliis aliisque corporibus quiescentibus, aut ejusdem corporis quiescentis partibus fit contiguum.*

DEFINITIO 3.

4. *Gravitas* est nisus deorsum versus centrum terræ.

DEFINITIO 4.

5. *Gravitatio* est pressura, quam corpus in aliud sibi subjectum vi gravitatis suæ exercet.

DEFINITIO 5.

6. *Massa* corporis est materia ipsi cohærens, hoc est, quæ una cum corpore movetur & gravitat.

DEFINITIO 6.

7. *Moles* seu *volumen* est expansio corporis secundum longitudinem, latitudinem & profunditatem.

COROLLARIUM.

8. Invenitur adeo per regulas Geometriæ.

DEFINITIO 7.

9. *Vis Motrix* seu *vis* simpliciter est principium motus, seu id, unde motus in corpore pendet. Dicitur *viva*, si cum motu actuali conjungitur, qualis est in globo cadente. *Mortua* vero vocatur, si ad motum producendum tendit quidem, verum motum actu nondum producit, seu quæ in solo nisu seu conatu ad motum consistit, qualis est in globo ex filo suspenso & in elatere tenso, qui se restituere nititur.

SCHOLION.

10. *Hanc virium distinctionem dudum agnovere inter homines plebejos molitores nostrates.* Mortuam *enim vocant* aquam *in alveo stagnantem aut segniter admodum*

Digitized by Google

dum fluentem; vivam *vero*, *quæ impetu concepto rotis molendinorum circumagendis sufficit. Acutissimus* Leibnitius *cum magnum momentum in ea situm esse deprehenderet ad motuum doctrinam rite tradendam, eandem in mechanicam introduxit* (a).

DEFINITIO 8.

11. *Tempus* hic voco eam temporis partem, qua motus durasse supponitur.

DEFINITIO 9.

12. *Spatium* est linea, quam mobile instar puncti consideratum motu suo describere concipitur.

DEFINITIO 10.

13. *Velocitas* seu *Celeritas* est ea vis motricis affectio, qua mobile aptum redditur dato tempore spatium datum percurrendi.

COROLLARIUM.

14. Celeritas adeo dupla est, qua eodem tempore spatium duplum describitur; tripla, qua triplum; quadrupla, qua quadruplum describitur & ita porro in infinitum in quacunque multiplicium vel submultiplicium specie.

SCHOLION 1.

15. *Nimirum celeritas tanto major censetur ab omnibus, quanto majus spatium eodem tempore percurrit mobile. Ponamus mobile A intervallo unius minuti secundi percurrere intervallum duorum pedum. Sit aliud mobile B, quod intervallo unius secundi percurrat spatium trium pedum. Ultro fatebuntur omnes celeritatem ipsius mobilis B majorem esse celeritate alterius A.*

SCHOLION 2.

16. *Mobile in momento quovis temporis celeritatem habet, cumque omnes corporis partes eadem celeritate progrediantur, quod satis patet attendenti, celeritas quasi per totam mobilis massam diffusa concipitur, ita ut eadem in singulis partibus existat. Proprie loquendo est gradus vis motricis.*

DEFINITIO 11.

17. *Linea directionis* est, juxta quam corpus progredi nititur.

DEFINITIO 12.

18. Velocitas sumta cum directione dicitur *Conatus*.

SCHOLION.

19. *Unde conatus censetur major, quo major est celeritas.*

DEFINITIO 13.

20. *Vis resistendi* dicitur, quæ in contrarium seu juxta oppositam directionem vis cujuscunque alterius agit.

SCHOLION.

21. *Opponuntur directiones, quæ in contrarias plagas tendunt.*

DEFINITIO 14.

22. *Quantitas motus*, momentanea scilicet, est factum ex celeritate in massam. *Leibnitius* appellat *Quantitatem motionis*.

SCHO-

(a) Act. Erudit. A. 1695. p. 194.

Digitized by Google

SCHOLION.

23. *Pendet nimirum quantitas motus & a quantitate massæ, & a quantitate celeritatis, ita ut in eodem corpore motus existimetur major, si major est celeritas, qua movetur, & in duobus corporibus, quorum eadem est celeritas, ejus motus major sit, cujus massæ quantitas major est.*

DEFINITIO 15.

24. *Motus æquabilis* est, si mobile continuo eadem celeritate fertur.

AXIOMA 1.

25. *Nihil est sine ratione sufficiente, cur potius sit, quam non sit.*

SCHOLION.

26. *De hoc principio plura diximus in* Ontologia *seu* Philosophia prima *integro capite 2. sect. 1. part. 1. Et in Mechanica idem jam olim tacite supposuit* Archimedes *in libris de æquiponderantibus.*

AXIOMA 2.

27. *Si mobile eadem celeritate movetur, æqualibus temporibus æqualia spatia describit.*

SCHOLION.

28. *Cum enim mobile per celeritatem aptum reddatur ad datum spatium dato tempore percurrendum (§. 13.); nulla sane ratio est, cur temporibus æqualibus, quibus eandem celeritatem habet mobile, diversum spatium describere deberet. Describit adeo idem (§. 25.). Axiomatis hujus veritatem apertius stabilimus in Philosophia prima (§. 656. Ontol.), ubi etiam scientiarum mathematicarum principia demonstrativa ratione a priori ex notionibus simplicioribus deduximus.*

AXIOMA 3.

29. *Si duo mobilia eadem celeritate feruntur, eodem tempore æqualia spatia describunt.*

SCHOLION.

30. *Patet idem per axioma primum (§. 25.). Conferatur de eodem Philosophia prima §. 660.*

THEOREMA 1.

31. *In motu æquabili spatia a mobili percursa sunt ut tempora.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam motus æquabilis *per hypoth.* mobile continuo eadem celeritate movetur (§. 24.). Quare si tempore *t* describit spatium *s*, alio tempore *t* priori æquali describit quoque spatium *s* priori æquale (§. 27.), adeoque tempore bis *t* spatium bis *s*, immo tempore quocunque multiplici seu submultiplici *nt* (=T) spatium *ns* (=S). Sunt igitur spatia s & S ut tempora t & T (§. 178. *Arithm.*) *Q. e. d.*

THEOREMA 2.

32. *Si duo mobilia eadem celeritate & motu æquabili feruntur; spatia descripta sunt ut tempora.*

DEMONSTRATIO.

Si enim mobile A tempore t percurrit spatium s, etiam mobile

bile B, quod eadem celeritate fertur, *per hypoth.* eodem tempore t percurrit ſpatium s priori æquale (§. 29.). Sed ſi idem mobile percurrit tempore quocunque alio T ſpatium S, erit hoc ad alterum s ut T ad t (§. 31.). Quare cum ſpatium s ſit idem, quod a mobili A tempore t percurritur *per demonſtrata*; ſpatia s & S a mobilibus A & B temporibus t & T deſcripta ſunt ut tempora t & T, quibus deſcribuntur. *Q. e. d.*

THEOREMA 3.

33. *Si duo mobilia non eadem celeritate feruntur, ſpatia eodem tempore motu æquabili deſcripta ſunt ut celeritates.*

DEMONSTRATIO.

Si enim mobile A tempore t celeritate c ſpatium s deſcribit; eodem tempore t celeritate bis c deſcribit ſpatium bis s & celeritate quacunque multiplici vel ſubmultiplici nc ſpatium quodcunque multiplex vel ſubmultiplex ns (§. 14.). Erunt adeo ſpatia s & S ($=ns$) deſcripta ut celeritates c & C ($=nc$) (§. 175. *Arithm.*). Quare ſi mobile B eodem tempore t celeritate C deſcribit ſpatium S: erit adhuc ſpatium a mobili A eodem tempore deſcriptum S ut celeritas illius c ad celeritatem hujus C. *Q. e. d.*

THEOREMA 4.

34. *Spatia a duobus mobilibus peracta ſunt in ratione compoſita temporum & celeritatum.*

DEMONSTRATIO.

Deſcribat mobile A celeritate c ſpatium s tempore t & B celeritate C ſpatium S tempore T. Ponamus idem mobile B celeritate c deſcribere ſpatium q tempore T. Quoniam celeritas c mobilium A & B eadem, erit $q:s=T:t$ (§. 32.). Et quia ſpatia S & q eodem tempore T deſcribuntur, erit $S:q=C:c$ (§. 33.). Ergo $Sq:sq=TC:tc$ (§. 213. *Arith.*), conſequenter $S:s=TC:tc$ (§ 181. 167. *Arithm.*), conſequenter ſpatia ſunt in ratione compoſita temporum & celeritatum (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM I.

35. Si $S=s$; erit $CT=ct$, adeoque $C:c=t:T$ (§. 299. *Arithm.*), hoc eſt, ſi duo corpora motu æquabili æqualia ſpatia deſcribunt; celeritates habent temporum rationem reciprocam.

COROLLARIUM 2.

36. Si ulterius $t=T$; erit etiam $C=c$, adeoque corpora, quæ motu æquabili tempore æquali ſpatia æqualia percurrunt, æquali celeritate feruntur.

THEOREMA 5.

37. *Duorum corporum motu æquabili latorum celeritates C & c ſunt in ratione compoſita ex directa*

Digitized by Google

cta spatiorum S & s & reciproca temporum T & t.

DEMONSTRATIO.

Est enim $S:s=CT:ct$ (§. 34.). Quare cum sit $sCT=Sct$ (§. 297. *Arithm.*); erit $C:c=St:sT$ (§. 299. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

38. Quoniam $C:c=St:sT$ (§. 37.); erit $C:c=\frac{S}{T}:\frac{s}{t}$ (§. 181. *Arithm.*). Quare celeritas C analytice exprimitur per $\frac{S}{T}$, hoc est, celeritas est ut spatium per tempus divisum.

THEOREMA 6.

39. *Si duo corpora motu æquabili lata celeritatibus* C & c *describunt spatia S & s, tempora T & t, quibus describuntur, erunt in ratione composita ex directa spatiorum & reciproca celeritatum.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam $S:s=CT:ct$ (§. 34.); erit $sCT=Sct$ (§. 297. *Arithm.*). Quare $T:t=cS:Cs$ (§. 299. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 7.

40. *Si spatia* S & s *a duobus mobilibus motu æquabili descripta fuerint ut celeritates* C & c, *tempora* T & t *erunt æqualia.*

DEMONSTRATIO.

Est enim $S:s=CT:ct$ (§. 34.). Quare si esse debet $S:s=C:c$, necesse est ut sit $T=t$ (§. 178. *Arithm.*). Est vero $S:s=C:c$ *per hypoth.* Ergo etiam $T=t$. *Q. e. d.*

Idem etiam hoc modo ostenditur. $S:s=C:c$, *per hypoth.* sed $S:s=CT:ct$ (§. 34.). Ergo $C:c=CT:ct$ (§. 167. *Arithm.*), consequenter $1:1=T:t$ (§. 18. *Arithm.*). Quare cum sit $1=1$, erit etiem $T=t$. *Q. e. d.*

THEOREMA 8.

41. *Quantitates motus duorum corporum, quæ motu æquabili feruntur,* Q & q, *sunt in ratione composita celeritatum* C & c & *massarum* M & m.

DEMONSTRATIO.

Est enim $Q=CM$ & $q=cm$ (§. 22.). Quare $Q:q=CM:cm$, hoc est Q habet ad q rationem compositam ipsius C ad c & ipsius M ad m (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

42. Si $Q=q$; erit $CM=cm$, adeoque $C:c=m:M$ (§. 299. *Arithm.*), hoc est, si quantitates motus duorum mobilium motu æquabili latorum fuerint æquales; celeritates habent rationem massarum reciprocam.

COROLLARIUM 2.

43. Quare si ulterius $M=m$; erit etiam $C=c$, hoc est, si duorum mobilium ejusdem massæ motu æquabili latorum quantitates motus fuerint æquales; æquali celeritate feruntur.

COROLLARIUM 3.

44. Similiter si $C=c$; erit $M=m$, hoc est, si duo mobilia eadem celeritate moventur, & fuerint quantitates motus æquales; erunt massæ eorundem æquales.

THEOREMA 9.

45. *Duorum corporum, quæ motu æquabili feruntur, celeritates* C *&* c *sunt in ratione composita ex quantitate motus* Q *&* q *directa & massarum* M *&* m *reciproca.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam $Q:q=CM:cm$ (§. 41.)

erit $Qcm=qCM$ (§. 297. *Arithm.*)

$C:c=Qm:qM$ (§ 299. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

46. Si $C=c$; erit $Qm=qM$, adeoque $Q:q=M:m$ (§. 299. *Arithm.*), hoc est, si duo mobilia motu æquabili & eadem celeritate feruntur; quantitates motus massarum rationem habent.

COROLLARIUM 2.

47. Quodsi ulterius fuerit $M=m$; erit etiam $Q=q$, adeoque si duo mobilia æqualem massam habentia motu æquabili & eadem velocitate feruntur; quantitates motus æquales sunt.

THEOREMA 10.

48. *In motu æquabili massæ corporum* M *&* m *sunt in ratione composita ex quantitatum motus* Q *&* q *directa & celeritatum* C *&* c *reciproca.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam $Q:q=CM:cm$ (§. 41.)

erit $Qcm=qCM$ (§. 297. *Arithm.*)

$M:m=Qc:qC$ (§. 299. *Ar.*)

Q. e. d.

COROLLARIUM.

49. Si $M=m$; erit $Qc=qC$, adeoque $Q:q=C:c$ (§. 299. *Arithm.*), hoc est, si duorum mobilium motu æquabili latorum massæ fuerint æquales; quantitates motus sunt ut velocitates.

THEOREMA 11.

50. *In motu æquabili quantitates motus* Q *&* q *sunt in ratione composita ex rationibus directis massarum* M *&* m *atque spatiorum* S *&* s *& reciproca temporum* T *&* t.

DEMONSTRATIO.

Quoniam $C:c=St:sT$ (§. 38.)
& $Q:q=CM:cm$ (§. 41.) erit

$CQ:cq=CMSt:cmsT$ (§. 213. *Arithm.*)

$Q:q=MSt:msT$ (§. 185. *Ar.*)

Q. e. d.

COROLLARIUM 1.

51. Si $Q=q$; erit $MSt=msT$ adeoque $M:m=sT:St$, $S:s=mT:Mt$ & $T:t=MS:ms$, hoc est, si duorum mobilium motu æquabili latorum quantitates motus fuerint æquales; 1. massæ eorundem sunt in ratione composita ex directa temporum & reciproca spatiorum: 2. Spatia sunt

sunt in ratione composita ex directa temporum & reciproca massarum: 3. Tempora denique sunt in ratione composita massarum & spatiorum.

COROLLARIUM 2.

52. Si præterea $M = m$; erit $sT = St$, adeoque $S : s = T : t$ (§. 299. *Arithm.*). Nempe si duorum mobilum motu æquabili latorum quantitates motus ac massæ fuerint æquales; spatia temporum rationem habent.

COROLLARIUM 3.

53. Si ulterius $T = t$; erit quoque $S = s$. Duo igitur mobilia, quorum massæ ac quantitates motus æquales sunt, eodem tempore motu æquabili spatia æqualia describunt.

COROLLARIUM 4.

54. Si præter $Q = q$ fuerit $S = s$; erit $mT = Mt$ (§. 50.) adeoque $M : m = T : t$ (§. 299 *Arithm.*), hoc est, si duo mobilia, quorum quantitates motus æquales sunt, æquabili motu æqualia spatia percurrunt; massæ eorundem sunt temporibus proportionales, vel, quod perinde est, tempora sunt massis proportionalia.

COROLLARIUM 5.

55. Si ulterius $T = t$; erit etiam $M = m$, adeoque corporum, quorum quantitates motus æquales sunt & quæ eodem tempore motu æquabili spatia æqualia describunt, massæ æquales sunt.

COROLLARIUM 6.

56. Si præter $Q = q$ fuerit $T = t$; erit $MS = ms$ (§. 50.), adeoque $S : s = m : M$, hoc est, spatia a duobus mobilibus, quorum quantitates motus æquales sunt, eodem tempore motu æquabili descripta sunt in ratione massarum reciproca.

THEOREMA 12.

57. *In motu æquabili spatia* S *&* s *sunt in ratione composita ex rationibus directis quantitatum motus* Q *&* q *atque temporum* T *&* t *& reciproca massarum* M *&* m.

DEMONSTRATIO.

Quoniam $Q : q = MSt : msT$ (§. 50.) erit $QmsT = qMSt$ (§. 297. *Arithm.*). Unde $S : s = QTm : qtM$ (§. 299. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

58. Si $S = s$; erit $QTm = qtM$, adeoque $Q : q = tM : Tm$, $M : m = QT : qt$, $T : t = qM : Qm$ (§. 299. *Arithm.*). Quodsi adeo duo mobilia motu æquabili per æqualia spatia feruntur; erunt 1. quantitates motus in ratione composita ex directa massarum & reciproca temporum: 2. massæ in ratione composita quantitatum motus atque temporum: 3. tempora in ratione composita ex directa massarum & quantitatum motus reciproca.

COROLLARIUM 2.

59. Si præter $S = s$ fuerit $M = m$; erit $QT = qt$, adeoque $Q : q = t : T$ (§. 299. *Arithm.*). Nimirum duorum mobilium, quorum massæ æquales sunt, quantitates motus sunt in ratione temporum reciproca, quibus per æqualia spatia feruntur.

 COROL-

COROLLARIUM 3.

60. Si præter $S=s$ fuerit $T=t$; erit $qM=Qm$ (§. 58.), adeoque $Q:q=M:m$. (§. 299. *Arithm.*). Duorum itaque mobilium, quæ per æqualia spatia æquali tempore motu æquabili feruntur, quantitates motus massis proportionales sunt.

THEOREMA 13.

61. *Corporum motu æquabili latorum massæ* M & m *sunt in ratione composita ex rationibus directis quantitatum motus* Q & q *atque temporum* T & t & *reciproca spatiorum* s & S.

DEMONSTRATIO.

Quoniam $Q:q=MSt:msT$ (§. 50.): erit $QmsT=qMSt$ (§. 297. *Arithm.*). Unde $M:m=QTs:qtS$ (§. 299. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

62. Si $M=m$; erit $QTs=qtS$, adeoque $Q:q=tS:Ts$, $S:s=QT:qt$ & $T:t=qS:Qs$ (§. 299. *Arithm.*), hoc est, duorum mobilium æquabili motu latorum, quorum massæ æquales, 1 quantitates motus sunt in ratione composita ex directa spatiorum & reciproca temporum: 2. spatia sunt in ratione quantitatum motus & temporum composita: 3. tempora sunt in ratione composita ex directa spatiorum & reciproca quantitatum motus.

COROLLARIUM 2.

63. Si præter $M=m$ fuerit $T=t$; erit $qS=Qs$, adeoque $Q:q=S:s$: (§. 299. *Arithm*), hoc est, quantitates motus duorum mobilium, quorum massæ æquales sunt, spatiis æquali tempore peractis proportionales sunt.

THEOREMA 14.

64. *In motu æquabili tempora* T & t *sunt in ratione composita ex rationibus directis massarum* M & m *atque spatiorum* S & s & *reciproca quantitatum motus* Q & q.

DEMONSTRATIO.

Quoniam $Q:q=MSt:msT$ (§. 50); erit $QmsT=qMSt$ (§. 297. *Arithm.*). Unde $T:t=qMS:Qms$ (§. 299. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

65. Si $T=t$; erit $qMS=Qms$, adeoque $Q:q=MS:ms$, $M:m=Qs:qS$ & $S:s=Qm:qM$ (§. 299. *Arithm.*), hoc est, si motus æquabilis duorum mobilium fuerit æquidiuturnus, erunt 1. quantitates motus in ratione massarum & spatiorum composita: 2. massæ in ratione composita ex quantitatum motus directa & spatiorum reciproca: 3 spatia in ratione composita ex directa quantitatum motus & reciproca massarum.

SCHOLION.

66. *Suadeo tyronibus, ut hactenus demonstrata numeris illustrent: ita enim futurum, ut facilius eorundem vim animo comprehendant. Ponamus itaque corpus A, cujus massa sit ut 7, e. gr. 7 librarum, tempore 3 secundorum emetiri spatium 12 pedum, & corpus aliud B, cujus massa sit ut 5, tempore 8 secundorum emetiri spatium 16 pedum, habebimus* $M=7$, $T=3$, $S=12$, $m=5$, $t=8$, $s=16$, *adeoque* $C=4$,

$C=4$, $c=2$ (§. 38.), $Q=28$, $q=10$ (§. 22.). *Hinc utique deprehenditur,*

$C:c=St:sT$ (§. 37.)

$4:2=12.8:16.3=4:2$

$S:s=CT:ct$ (§. 34.)

$12:16=4.3:2.8=12:16$

$T:t=cS:Cs$ (§. 39.)

$3:8=2.12:4.16=1.3:2.4=3:8$

$C:c=Qm:qM$ (§. 45)

$4:2=28.5:10.7=4.1:2.1=4:2$

$M:m=Qc:qC$ (§. 48.

$7:5=28.2:10.4=7.1:5.1=7:5$

$S:s=TQm:tqM$ (§. 57.)

$12:16=3.28.5:8.10.7=3.4.1:8.2.1=12:16.$

$M:m=TQs:tqS$ (§. 61.)

$7:5=3.28.16:8.10.12=3.7.2:1.10.3=7:5$

$Q:q=MSt:msT$ (§. 50.)

$28:10=7.12.8:5.16.3=7.4.1:5.2.1=28:10$

Eodem modo illuſtrantur ſingula theorematum corollaria.

Sit enim $S=12$, $T=6$, $s=8$, $t=4$, *erit* $C=12:6=2$ & $c=8:4=2$, *conſequenter ob* $C=c$ (§. 32.)

$S:s=T:t$

$12:8=6:4$

Sit $S=12$ & $s=12$. *Quoniam* $S=CT$ & $s=ct$ (§. 34.); *ſi* $C=2$ & $c=3$, *erit* $T=6$ & $t=4$. *Habemus adeo* (§. 35.).

$C:c=t:T$

$2:3=4:6$

Si pro S & s *ponatur* Q & q *pro* T & t *vero* M & m. *idem exemplum illuſtrabit primum theorematis 8 corollarium* (§. 42.). *Iisdem obſervatis exemplum præcedens in Corollarium primum theorematis noni quadrat.*

Sit denique $Q=12$, $q=8$, $M=4$, $m=4$; *erit* $C=12:4=3$ & $c=8:4=2$, (§. 22.) *adeoque* (§. 49.).

$Q:q=C:c$

$12:8=3:2$

CAPUT II.

DE MOTU UNIFORMITER ACCELERATO ET RETARDATO.

DEFINITIO 16.

67. Motus *acceleratus* eſt, qui nova capit celeritatis incrementa. *Uniformieer acceleratus* eſt, qui temporibus æqualibus æqualia continuo capit celeritatis incrementa.

COROLLARIUM 1.

68. In motu adeo uniformiter accelerato celeritates ſunt ut tempora, quibus acquiruntur.

COROLLARIUM 2.

69. Quare ſi tempuſcula elementaria fuerint dt & dT, celeritates elementares iis reſpondentes dc & dC; erit $t:T=c:C$ (§. 192.

Digitized by Google

(§. 192. *Arithm.* & §. *prec.*). Sunt enim *t* & T summæ ipsorum *dt* & *d*T, *c* & C vero summæ ipsorem *dc* & *d*C (§. 178. 67. *Arithm.*).

DEFINITIO 17.

70. *Motus retardatus* est, cujus celeritas decrescit. *Uniformiter retardatus* dicitur, si continua celeritatis decrementa fuerint temporibus proportionalia.

AXIOMA 2.

71. *Corpus semel quiescens nunquam movebitur, nisi aliunde ad motum concitetur: semel autem motum eadem velocitate & secundum eandem directionem moveri perget, nisi a causa aliqua statum suum mutare cogatur.*

SCHOLION.

72. *Hæc satis manifesta sunt ex axiomate omnis philosophiæ fundamentali, quod nihil fit sine ratione sufficiente* (§. 25.): *quemadmodum idem ostendimus in Cosmologia. Nec experientia eidem repugnat, cum semper ratio assignari possit tam motus retardati, quam directionis mutatæ, modo omnes circumstantias satis perpendamus.*

COROLLARIUM 1.

73. Corpus itaque, quod nonnisi impulsu semel facto movetur, per lineam rectam moveri debet.

COROLLARIUM 3.

74. Quodsi vero per curvam incedit, duplici vi urgeatur necesse est, altera nempe, qua progrederetur secundum lineam rectam, altera vero, qua a motu rectilineo continuo retrahitur.

AXIOMA 3.

75. *Si nisus & renisus duorum corporum fuerint æquales; motus nullus subsequitur, sed corpora se mutuo impellentia juxta se invicem quiescunt.*

AXIOMA 4.

76. *Si corpus motum secundum eandem directionem, qua movetur, impellitur, motus acceleratur* (§. 67.).

AXIOMA 5.

77. *Corpus motum a vi resistente retardatur* (§. 20. 70.).

OBSERVATIO 1.

78. *Gravitas corporum eadem in qualibet a superficie telluris distantia, in qua experimentum capere licet: quam in posterum* Intervallum non nimis magnum *dicemus.*

OBSERVATIO 2.

79. *Gravia descendunt motu accelerato.*

THEOREMA 15.

80. *Si corpus ex quiete motu uniformiter accelerato fertur, spatia sunt in ratione duplicata temporum.*

DEMONSTRATIO.

Designet recta AB tempus, Tab.
quo motus mobilis acceleratur & I.
rectæ ad AB applicatæ PM, BC Fig.
sint 1.

Digitized by Google

ſint ut celeritates in fine temporis AP, AB acquiſitæ. Quoniam motus uniformiter acceleratur & motus a quiete incipit, *per hypoth.* erit AP : AB = PM : BC (§. 68.). Sunt vero PM & BC ad AB perpendiculares *per conſtruct.* adeoque inter ſe parallelæ (§. 256. *Geom.*). Eſt igitur ABC triangulum (§ 268. *Geom.*), idque rectangulum (§ 91. *Geom.*). Ponamus *pm* eſſe alteri lineæ PM infinite propinquam: celeritates PM & *pm* non different niſi quantitate infinite parva *mr* in fine tempuſculi P*p*, atque adeo tempuſculo toto P*p* eadem celeritate fertur mobile (§. 4. *Analyſ. infin.*), conſequenter motus iſto tempuſculo æquabilis eſt (§. 24.). Enimvero in motu æquabili ſpatium eſt ut tempus ductum in celeritatem (§. 34. *Mech.* & §. 159. *Arithm.*), adeoque ſpatium a mobili tempuſculo P*p* confectum ut rectangulum P*p* rM (§. 375. *Geom.*), conſequenter cum ſingulis tempuſculis, quibus AP conſtat, ipſi P*p* æqualibus iſtiusmodi parallelogrammula reſpondeant, quæ ſimul ſumta aream triangularem APM conficiunt (§. 99. *Analyſ. infin.*), area APM exprimit ſpatium a mobili tempore AP confectum. Ex eadem ratione triangulum ABC exprimit ſpatium a mobili tempore AB confectum. Sunt igitur ſpatia temporibus AP & AB deſcripta ut triangula APM & ABC, conſequenter ob eorundem ſimilitudinem (§. 268. *Geom.*) in ratione duplicata rectarum AP & AB (§. 398. *Geom.*), hoc eſt, temporum. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

81. Quoniam in motu uniformiter accelerato celeritates ſunt ut tempora (§. 68.); ſpatia erunt etiam in ratione duplicata celeritatum in fine temporum, quibus deſcribuntur, acquiſitarum (§. 80. *Mech.* & §. 160. *Arithm.*).

COROLLARIUM 2.

82. In motu uniformiter accelerato tempora ſunt in ratione ſubduplicata ſpatiorum (§. 124. *Anal.* 159. *Arithm.* & §. 80. *Mech.*).

COROLLARIUM 3.

83. Etiam celeritates in fine temporum ſunt in ratione ſubduplicata ſpatiorum illis deſcriptorum (§. 159. *Arithm.* 124. *Anal.* & §. 81. *Mech.*).

THEOREMA 16.

84. *Spatia, quæ corpus motu uniformiter accelerato percurrit, creſcunt temporibus æqualibus ſecundum numeros impares 1, 3, 5, 7, 9* &c.

DEMONSTRATIO.

Si tempora, quibus corpus motu uniformiter accelerato progreditur,

Digitized by Google

greditur, fuerint ut 1, 2, 3, 4, 5 &c. ſpatium intra momentum 1 confectum erit ut 1, intra duo percurſum ut 4, intra tria ut 9, intra quatuor ut 16, intra quinque ut 25 &c. (§. 80.). Quodſi ergo ſubtrahas ſpatium intra minutum unum percurſum a ſpatio intra duo confecto 4; remanebit ſpatium minuto ſecundo reſpondens 3. Eodem modo reperitur ſpatium minuto tertio abſolutum $9-4=5$, ſpatium quarto reſpondens $16-9=7$, quod quinto convenit $25-16=9$ &c. & ita porro (§. 83. *Analyſ.*). Spatium ergo minuti primi eſt ut 1, ſecundi ut 3, tertii ut 5, quarti ut 7, quinti ut 9 &c. adeoque ſpatia corporis motu uniformiter accelerato progredientis temporibus æqualibus augentur ſecundum numeros impares 1, 3, 5, 7, 9 &c. *Q. e. d.*

THEOREMA 17.

85. *Corpora gravia in medio non reſiſtente per intervalla non nimis magna motu uniformiter accelerato deſcendunt.*

DEMONSTRATIO.

Cum gravia deſcendant motu accelerato (§. 79.); vis gravitatis ea continuo impellere debet (§. 76.). Eſt vero gravitas in intervallo non nimis magno eadem (§. 78.). Quare gravia eodem modo temporibus æqualibus deorſum impelli debent (§. 25.). Itaque ſi tempuſculo primo impelluntur celeritate *c*, etiam ſecundo celeritate *c* impellentur, immo etiam tertio, quarto, quinto & alio quocunque æquali. Quoniam vero medium non reſiſtit *per hypoth.* celeritatem ſemel acquiſitam conſtanter retinent (§. 71.), adeoque temporibus æqualibus æqualia continuo celeritatis incrementa capiunt, conſequenter motu uniformiter accelerato deſcendunt (§. 67.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM. 1.

86. Sunt igitur ſpatia deſcenſus ex quiete in temporum (§. 80.), itemque in velocitatum ratione duplicata (§. 81.) & ſecundum numeros impares 1, 3, 5, 7, 9 &c. creſcunt (§. 84.).

COROLLARIUM 2.

87. Tempora vero, itemque velocitates ſunt in ratione ſpatiorum ſubduplicata (§. 82. 83.).

SCHOLION 1.

88. *Dum gravia deſcendere ſupponimus in medio non reſiſtente, ab omni externo impedimento abſtrahimus, quocunque tandem nomine veniat & a quacunque cauſa ortum trahat. Unde motum quoque ſecludimus, quo, ob vertiginem Telluris in Aſtronomia adſtruendum, in transverſum rapiuntur gravia ipſo deſcenſus tempore: quamvis in intervallo*

non

Digitized by Google

non nimis magno nulla inde in descensum gravium irregularitas irrepat.

SCHOLION 2.

89. Galilæus Galilæi, *qui legem descensus corporum gravium ratiocinando invenit, eandem quoque experientiis consonam deprehendit* (b). *In tabula scilicet lignea duos circiter cubitos longa canalem excavavit uno digito paulo latiorem, agglutinata intus membrana, ne scabritie sua pilam æneam bene politam in descensu remoraretur. Eam postea supra planum horizontale uno, duobus & pluribus cubitis successive elevavit, & tempus, in qua pila per canalem descendebat, accurate dimetiens, iteratis vel centies experimentis, didicit spatia decursa semper esse ut temporum quadrata. Notandum vero, spatia computanda esse non in longitudine, sed in altitudine plani, vi eorum, quæ inferius demonstrabuntur.*

SCHOLION 3.

90. Eadem experimenta modo tamen diverso sæpius cum Grimaldo *suo repetiit* Johan. Baptista Ricciolus (c). *plurimos globos cretaceos ejusdem molis, pondere 8 unciarum, ex diversarum turrium aut ædium fenestris demittens & tempus descensus perpendiculi vibrationibus dimetiens. Perpendiculi vibrationes numeravit cum* Grimaldo *a transitu caudæ Leonis per Meridianum usque ad alterum transitum, ut certo constaret. quot vibrationes penduli respondeant quotlibet minutis temporis. Etenim eodem pendulo deinceps usus in observationibus astronomicis, antequam horologia oscillatoria ab* Hugenio *fuissent inventa. Experimenta sequens repræsentat tabella.*

Vibrationes penduli	Tempus		Spatium in fine temporis	Spatium singulis temporibus confectum.
	''	'''	Ped. Rom.	Ped. Rom.
5	0	50	10	10
10	1	40	40	30
15	2	30	90	50
20	3	20	160	70
25	4	10	250	90
6	1	0	15	15
12	2	0	60	45
18	3	0	135	75
24	4	0	240	105

SCHOLION 4.

91. Cum adeo experimenta Riccioli *in observando maxime exercitati in tanto intervallo instituta theoriæ apprime consentiant; vix attendenda esse videntur, quæ in contrarium affert* (d) Dechales, *qui se expertum scribit, uno minuto semisecundo grave descensu suo confecisse pedes* $4\frac{1}{4}$, *duobus* $16\frac{1}{2}$, *tribus 36, quatuor 60, quinque 90, sex 123. Sufficit, quod ipse a resistentia aëris irregularitatem deducat, quam in demonstratione insuper habuimus.*

THEO-

(b) In Dialogis de motu locali Dial. 3. p. m. 157. 156.
(c) Almagest. Nov. Tom. 1. lib. 2. c. 21. prop. 4. f 89. 90.
(d) Staticæ lib 2. prop. 11. Mund. Math. Tom. 2. f. 175.

THEOREMA 18.

92. *Si grave in medio non resistente per intervallum non nimis magnum descendit, spatium ab eo decursum est subduplum ejus, quod eodem tempore motu uniformi cum ea velocitate conficitur, quam in fine temporis grave acquirit.*

DEMONSTRATIO.

Tab. I. Fig. 1. Concipiatur recta AB, quæ tempus integrum descensus repræsentet, in partes quotcunque æquales divisa. & ad abscissas AP, AQ, AS, AB applicentur rectæ PM, QI, SH, BC, quæ sint ut celeritates cadendo in istis temporibus acquisitæ. Quoniam itaque AP : AQ = PM : QI, AP : AS = PM : SH &c. (§. 85.): & rectæ PM, QI, SH, BC inter se parallelæ (§. *256 Geom.*); erit ABC triangulum (§. *268 Geom.*). Et spatium tempore AB percursum est ut triangulum ABC: quemadmodum ex demonstratione theorematis 15 (§. 80.) constat. Spatium vero eodem tempore AB celeritate BC uniformiter descriptum cum sit ut rectangulum ABCD (§. 34.); erit utique istud ad ad hoc ut 1 ad 2 (§. *386. Geom.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

93. Spatium igitur, quod tempore ipsius AB dimidio celeritate BC in fine temporis AB a gravi acquisita conficitur, æquale est spatio, per quod grave ex quiete tempore AB integro descendit.

PROBLEMA 1.

94. *Dato tempore, quo grave ex altitudine data descendit, spatia definire, quæ singulis istius temporis partibus confecit.*

RESOLUTIO.

Sit altitudo data $= a$, tempus $= t$, spatium parte temporis 1 confectum $= x$; erit (§. 86.).

$$1 : t^2 = x : a$$

$$t^2 x = a$$

$$x = a : t^2$$

Est adeo spatium parte temporis prima confectum $a : t^2$, adeoque decursum parte secunda $= 3a : t^2$, tertia descriptum $= 5a : t^2$ &c. (§. 86.).

E. gr. supra in experimentis *Riccioli* (§ 90.) intra 4 secunda globus cretaceus descendit ex altitudine 240 pedum. Spatium igitur primo secundo confectum = 240 : 16 = 15, spatium confectum secundo = 15 . 3 = 45, confectum tertio = 15 . 5 = 75, confectum denique quarto 15 . 7 = 105. Est autem 15 + 45 + 75 + 105 = 240.

PROBLEMA 2.

95. *Dato tempore, quo grave in medio non resistente per spatium datum descendit, determinare tempus, quo aliud spatium datum in eodem medio conficiet.*

RE-

RESOLUTIO
ET
DEMONSTRATIO.

1. Cum ſpatia ſint ut quadrata tempornm (§. 86.), quæratur ad ſpatium, per quod grave dato tempore deſcendit, ſpatium quod in quæſtione eſt, & quadratum temporis dati, numerus quartus proportionalis (§. 302. *Arithm.*), qui erit quadratum temporis quæſiti.

2. Quare ſi inde extrahatur radix quadrata (§. 269. *Arithm.*); prodibit ipſum tempus quæſitum. *Q. e. i. & d.*

E. gr. Globus cretaceus in experimentis *Riccioli* (§. 90.) intervallo 4 minutorum deſcendit per ſpatium 240 pedum; quæritur, quo tempore confecturus ſit ſpatium 135 pedum? Invenietur hoc tempus $=\sqrt{(135 . 16 : 240)} = \sqrt{(135 : 15)} = \sqrt{9} = 3$.

PROBLEMA 3.

96. *Dato ſpatio, quod grave in medio non reſiſtente dato aliquo temporis intervallo confecit, determinare ſpatium, quod intra aliud temporis intervallum datum emetietur.*

RESOLUTIO
ET
DEMONSTRATIO.

Cum ſpatia ſint ut quadrata temporum (§. 86.); quæratur ad quadratum temporis, quo grave per datum ſpatium deſcendit, ad quadratum temporis, quo aliud quæſitum emetiri debet, atque ad ſpatium datum numerus quartus proportionalis (§. 302. *Arithm.*): qui erit ſpatium quæſitum.

E. gr. Per experimenta *Riccioli* globus cretaceus intervallo duorum ſecundorum confecit ſpatium 60 pedum: quæritur, quantum ſpatium confecturus ſit intervallo 4 ſecundorum? Reperietur ſpatium quæſitum $16 . 60 : 4 = 4 . 60 = 240$.

THEOREMA 19.

97. *Si corpus fertur motu uniformiter retardato, ſpatium dimidium ejus percurrit, quod motu uniformi eodem tempore conficeret.*

DEMONSTRATIO.

Concipiatur tempus datum repræſentans recta AB in partes quotcunque æquales diviſa & ad eam applicentur rectæ BC, SH, QI, PM, quæ ſint ut velocitates temporis partibus *o*, BS, BQ, BP, BA reſpondentes, ita ut demiſſis perpendicularibus HE, IF, MG rectæ CE, CF, CG, CB ſint ut celeritates temporibus HE, FI, GM, AB, hoc eſt, BS, BQ, BP, BA amiſſæ. Quoniam CE: CF = EH : FI, CG : CB = GM: BA (§. 70.); erit ABC triangulum (§. 268. *Geom.*). Quodſi B*b* ſit tempuſculum infinite parvum, motus erit uniformis, adeoque ſpatiolum a mobili deſcriptum ut areo- Tab. I. Fig. 1.

 la

la BbcC, consequenter spatium tempore AB confectum ut triangulum ABC, quemadmodum ex demonstratione theor. 15 (§. 80.) constat. Enimvero spatium a mobili celeritate BC tempore AB uniformiter descriptum est ut rectangulum ABCD (§. 34.). Ergo illud huius dimidium (§. *386. Geom.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 20.

98. *Spatia motu uniformiter retardato descripta temporibus æqualibus secundum numeros impares retrogrado ordine decrescunt.*

DEMONSTRATIO.

Tab. I. Fig. 2. Percurrat mobile tempusculo primo spatium 7 pedum; dico quod secundo confecturum sit spatium 5 pedum, tertio spatium 3, quarto spatium unius, si motus uniformiter retardetur. Sint enim partes axis trianguli æquales BS, SQ, QP, PA ut tempora, semiordinatæ BC, SH, QI, PM ut celeritates in initio temporis cujuslibet: erunt trapezia BSHC, SQIH, QPMI, & △PAM ut spatia temporibus istis descripta: quod patet ex demonstratione theorematis præcedentis (§. 97.). Sit igitur BC=4 & BS=SQ=QP=PA=1; erit SH=3, QI=2, PM=1 (§. 70.), BSHC=(4+3)1:2=$\frac{7}{2}$, SQIH=(3+2)1:2=$\frac{5}{2}$. QPMI=(2+1)1:2=$\frac{3}{2}$ §. *400. Geom.*), PAM=$\frac{1}{2}$ (§. *392. Geom.*), consequenter spatia æqualibus temporibus descripta sunt ut $\frac{7}{2}.\frac{5}{2}.\frac{3}{2}\ \frac{1}{2}$, hoc est ut 7. 5. 3. 1 (§. *178. Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 21.

99. *Si ad altitudinem* AB *applicentur celeritates* PM, ES, *descensu uniformiter accelerato per spatia* AP, AE *acquisita, locus celeritatum* AMS *erit Parabola.* Tab. I. Fig. 9.

DEMONSTRATIO.

Quoniam AP & AE sunt spatia & PM atque ES celeritates descensu per ea acquisitæ; erit AP: AE=PM^2 : ES^2 (§. 81.), hoc est, quadrata semiordinatarum sunt ut abscissæ. Est igitur AMS Parabola (§. *402 Anal. fin.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

100 Quoniam in motu uniformiter accelerato celeritates sunt ut tempora (§. 68.); si ad spatia AP, AE applicentur tempora PM, ES, quibus describuntur, curva temporis AMS erit itidem parabola.

PROBLEMA 4.

101. *Data celeritate mobilis in motu quomodocunque accelerato per tempus, invenire spatium.* Tab. I. Fig. 9.

RESOLUTIO.

Designet in axe curvæ AP tempus & semiordinata PM celeritatem eodem acquisitam, sitque AMS

AMS locus celeritatum. Ducatur pm ipsi PM infinite propinqua. Fiat AP$=t$. PM$=c$; erit P$p=dt$ & elementum PM$mp=cdt$ (§. 98. *Analys. infin.*). Enimvero quoniam tempusculo dt motus est æquabilis; erit spatiolum a mobili descriptum$=cdt$ (§. 34.). consequenter $\int cdt$ sive area AMP designabit spatium tempore AP descriptum. Quare si detur celeritas c per tempus t, non alia re opus est, quam ut valore hoc in elemento cdt substituto formula summetur.

E. gr. Sit c ut t^n et C ut T^n: erit $cdt = t^n dt$, adeoque $\int cdt = \frac{1}{n+1} t^{n+1}$. Sunt igitur spatia APM & AES temporibus AP & AE decursa ut $\frac{1}{n+1} t^{n+1}$ ad $\frac{1}{n+1} T^{n+1}$, consequenter ut t^{n+1} ad T^{n+1} (§. 178. *Arithm.*), adeoque ob $t^n = c$ & $C = T^n$ ut ct ad CT. Habemus itaque hoc

Theorema. Si celeritas in motu continuo accelerato acquisita fuerit in ratione quacunque multiplicata vel submultiplicata temporis; spatia sunt in ratione composita celeritatum atque temporum.

PROBLEMA 5

Tab. I. Fig. 9. 102. *Data celeritate mobilis motu continuo, sed quomodocunque accelerato lati per spatium, invenire tempus.*

RESOLUTIO.

Si celeritas $=c$, tempus $=t$, spatium r, elementum spatii dr tempusculo dt percursum est cdt (§. 101.). Habemus itaque

$$cdt = dr$$
$$dt = \frac{dr}{c}$$
$$t = \frac{\int dr}{c}$$

Quare si celeritas detur per r, non alia re opus est, quam ut valore hoc in elemento $dr:c$ substituto formula summetur.

E gr. Sit in hypothesi *Baliani* c ut r; erit $dr:r = dt$, adeoque $t = \frac{\int dr}{r} = lr$ (§. 243. *Analys. infin.*). Unde patet

Theorema. Si in motu accelerato celeritates sunt ut spatia, tempora sunt ut eorum logarithmi.

Et quia $\frac{\int dr}{r}$ est spatium hyperbolicum per latus potentiæ hyperbolæ 1 divisum; ideo (§. 120 *Analys. infin.*)

Theorema. In hypothesi *Baliani*, in qua celeritates sunt ut spatia, tempus exhibetur per spatia hyperbolica, adeoque ejus determinatio a quadratura hyperbolæ pendet.

Similiter si celeritas fuerit in ratione multiplicata vel submultiplicata quacunque spatii, hoc est, c ut r^n; erit $dt = dr$

Digitized by Google

$= dr : r^n = r^{-n} dr$, consequenter $t = \frac{1}{-n+1} r^{-n+1} = \frac{1}{1-n} \cdot \frac{r}{r^n}$ adeoque

$$T : t = \frac{1}{1-n} \cdot \frac{R}{R^n} : \frac{1}{1-n} \cdot \frac{r}{r^n}$$

$$= \frac{R}{R^n} : \frac{r}{r^n} = \frac{R}{C} : \frac{r}{c} = Rc : rC$$

Theorema. Si celeritates acquisitæ fuerint in ratione quacunque multiplicata vel submultiplicata spatiorum, erunt tempora in ratione composita ex directa spatiorum & reciproca celeritatum per spatia ista acquisitarum.

SCHOLION.

103 Varignonius, *Geometra eximius* (e), *doctrinam de motu accelerato & retardato analysi generali absolvens varia dedit exempla, quæ ad exercendam analysin faciunt, etsi in Mechanica, ubi in hypothesibus naturæ exemplo* Galilæi *acquiescere poteramus, nullum habeant usum. Quamobrem ut tyrones ad solutiones problematum Physico-Mathematicorum præparemus, utque intelligant principia in his elementis stabilita ad talia sufficere; unum alterumque exemplum evoluta analysi cum primis principiis Matheseos connexum exhibere lubet.*

PROBLEMA 6.

Tab. XIII. Fig. 122. 104. *Si tempora sint ut abscissæ* AP *& celeritates istis acquisitæ ut semiordinatæ* PN *curvæ* ANS *ejus naturæ, ut semiordinata* PN *sit ad semiordinatam hyperbolæ æquilateræ* PM *in ratione quacunque multiplicata vel submultiplicata dimidii axis* AC *ad abscissam* CP *a centro* C *computatam: invenire spatia dato tempore descripta.*

RESOLUTIO

Ex superioribus (§. 101.) liquet spatia quæsita esse ut aream APN, adeoque pendere a quadratura curvæ datæ ANS. Quoniam itaque AMR est hyperbola æquilatera, cujus axis transversus AB, centrum C; si fiat AC $= a$, AP $= t$; erit BP $= 2a + t$, adeoque ob AP. PB $=$ PM^2 (§. 507. *Analys.*) PM$^2 = 2at + t^2$, consequenter PM $= \sqrt{(2at + t^2)}$. Quare cum porro sit *per hypoth.*

$$CP^n : AC^n = PM : PN$$

$$(a+t)^n : a^n = \sqrt{(2at + t^2)} :$$

erit PN $= a^n \sqrt{(2at + t^2)} : (a+t)^n = c$. Est nempe c celeritas tempore AP acquisita, quam PN repræsentat *per hypoth.* Quare si in elemento spatii PN$np = cdt$ (§. 101.) substituatur valor ipsius c; prodibit elementum speciale $a^n dt \sqrt{(2at + t^2)} : (a+t)^n$. Totum adeo negotium huc redit, ut hoc elementum summabile reddatur, quantum datur. Fiat itaque

$a+t$

(e) In Comment. Acad. Reg. Scient. A. 1707. p. 290. & seqq.

Digitized by Google

$$a + t = x$$

erit $dt = dx$

$$t = x - a$$

$$\times 2a$$

$$2at = 2ax - 2a^2$$

$$t^2 = a^2 - 2ax + x^2$$

$$2at + t^2 = x^2 - a^2$$

$$\sqrt{(2at + t^2)} = \sqrt{(x^2 - a^2)}$$

$$(a+t)^n = x^n$$

$$\frac{dt\sqrt{(2at+t^2)}}{(a+t)^n} = \frac{dx\sqrt{(x^2-a^2)}}{x^n}$$

Fiat porro

$x^2 = \frac{a^3}{a-z}$ adeoque $x = \frac{a^{3:2}}{(a-z)^{1:2}}$

erit $2xdx = \frac{a^3dz}{(a-z)^2}$ $\quad x^n = \frac{a^{3n:2}}{(a-z)^{n:2}}$

$$dx = \frac{a^3dz}{2x(a-z)^2}$$

$$= \frac{a^3dz(a-z)^{1:2}}{2a^{3:2}(a-z)^2}$$

$$= \frac{a^{3:2}dz}{2(a-z)^{3:2}}$$

$$a^n dx = \frac{a^{n+3:2}dz}{2(a-z)^{3:2}}$$

Jam

$$x^2 - a^2 = \frac{a^3}{a-z} - a^2$$

$$= \frac{a^2z}{a-z}$$

$$\sqrt{(x^2-a^2)} = \frac{az^{1:2}}{(a-z)^{1:2}}$$

adeoque

$$a^n dx\sqrt{(x^2-a^2)} = \frac{a^{n+5:2}z^{1:2}dz}{2(a-z)^2}$$

Quare tandem habetur

$$\frac{a^n dx\sqrt{(x^2-a^2)}}{x^n} = \frac{a^{n+5:2}z^{1:2}(a-z)^{n:2}dz}{2a^{3n:2}(a-z)^2}$$

$$= \tfrac{1}{2}a^{(5-n):2}z^{1:2}(a-z)^{(n-4):2}dz$$

Elementum hoc PN*np* areæ APN integrabile eſt, ſi *n* fuerit numerus poſitivus par binario major.

E. gr. Sit $n = 4$, erit $(n-4):2 = 0$, adeoque $(a-z)^{n-4:2} = (a-z)^0 = 1$ (§.55. *Analyſ.*), conſequenter

$$PNnp = \tfrac{1}{2}a^{1:2}z^{1:2}dz,$$

adeoque $ANP = \tfrac{1}{3}a^{1:2}z^{3:2}$

$$= \tfrac{1}{3}z\sqrt{az}$$

Jam quia

$$x^2 = a^3:(a-z)$$

$$a - z = a^3 : x^2$$

$$z = a - a^3 : x^2$$

$$az = (a^2x^2 - a^4) : x^2$$

$$\sqrt{az} = a\sqrt{(x^2 - a^2)} : x$$

$$\tfrac{1}{3}z\sqrt{az} = \frac{a^2(x^2-a^2)\sqrt{(x^2-a^2)}}{3x^3}$$

Porro

$$x = t + a$$

$$x^2 = t^2 + 2at + a^2$$

$$x^2 - a^2 = t^2 + 2at$$

$\tfrac{1}{3}z$

$$\tfrac{1}{3}z\sqrt{az} = \frac{a^2(t^2+2at)\sqrt{(t^2+2at)}}{3(a+t)^3}$$
$$= ANP$$

SCHOLION.

105. *Apparet adeo, exemplum hoc non alium habere usum, quam ad exercendum calculum summatorium. Et idem quoque de sequentibus patebit.*

PROBLEMA 7.

106. *Si celeritas tempore t acquisita fuerit ut $t^{n-1}:(t^{2n}+a^{2n})$, determinare spatium r.*

RESOLUTIO.

Quoniam $dr = cdt$ (§. 101); erit $dr = t^{n-1}dt:(t^{2n}+a^{2n})$. Ut elementum integrabile reddatur, fiat

$$t^{2n} = a^{2n-2}x^2$$

erit
$$t = a^{(n-1):n}x^{1:n}$$

$$dt = \frac{1}{n}a^{(n-1):n}x^{1:n-1}dx$$

Porro ob $t^{n-1} = t^n : t$

$$t^{n-1} = a^{n-1}x : a^{(n-1):n}x^{1:n}$$
$$= a^{(nn-2n+1):n}x^{(n-1):n}$$

$$t^{n-1}dt = \frac{1}{n}a^{(nn-n):n}x^0 dx$$
$$= \frac{1}{n}a^{n-1}dx$$

$$\frac{t^{n-1}dt}{t^{2n}+a^{2n}} = \frac{\frac{1}{n}a^{n-1}dx}{a^{2n-2}x^2+a^{2n}}$$
$$= \frac{1}{n}a^{1-n}.\frac{dx}{x^2+a^2}$$

Quare spatium $r = \frac{1}{n}a^{1-n}.\int\frac{dx}{x^2+a^2}$

Si tangens arcus circuli fuerit x, radius a, erit $\int\frac{a^2dx}{x^2+a^2}$ arcus (§. 158. *Anal. infin.*), ut adeo quadratura curvæ, quæ spatium r exhibet, pendeat a rectificatione arcus circuli.

Varignonius formulam, quæ exprimit arcum in relatione ad tangentem reducit ad aliam, quæ eundem arcum exhibet in relatione ad sinum versum: id quod fit hoc modo. Sit

$$x = a\sqrt{(2a:y-1)}$$
$$= a(2ay^{-1}-1)^{1:2}$$

erit $dx = -a^2y^{-2}dy:\sqrt{(2ay^{-1}-1)}$

Elementum hoc in præsente casu sumendum est positivum, quia crescente x decrescit y, consequenter ipsius y differentiale $-dy$.

Porro $x^2 = 2a^3:y - a^2$

$$x^2+a^2 = 2a^3:y$$

Quamobrem

$$\frac{dx}{x^2+a^2} = \frac{a^2ydy}{2a^3y^2\sqrt{(2ay^{-1}-1)}}$$
$$= \frac{1}{2a^2}.\frac{ady}{\sqrt{(2ay-y^2)}}$$

$$\frac{1}{n}\frac{a^{1-n}dx}{x^2+a^2} = \frac{1}{2na^{n+1}}.\frac{ady}{\sqrt{(2ay-y^2)}}$$

PRO-

PROBLEMA 8.

107. *Data celeritate* c *tempore* t *acquisita, quæ sit ut* $t^{n-1}:(t^{2n}-a^{2n})$, *invenire spatium* r.

RESOLUTIO.

Quia $dr = cdt$ (§ 101.)

erit $dr = t^{n-1}dt:(t^{2n}-a^{2n})$

Ponatur ut ante (§. 106.)

$$t^{2n} = a^{2n-2}x^2$$

reperietur $\frac{t^{n-1}dt}{t^{2n}-a^{2n}} = \frac{dx}{x^2-a^2}$ prorsus ut ante.

Ponatur porro

$$x = \sqrt{(2ay^{-1}+1)}$$

reperietur $\frac{dx}{x^2-a^2} = \frac{ady}{2a\sqrt{(day+y^2)}}$ ut ante, adeoque tandem

$$dr = \frac{1}{2na^{n+1}} \cdot \frac{ady}{\sqrt{(2ay+y^2)}}$$

Ponatur denique

$$v-a=y$$

erit $v^2-2av+a^2=y^2$

$$2av-2a^2=2ay$$

$$v^2-a^2=y^2+2ay$$

$$\sqrt{(v^2-a^2)}=\sqrt{(y^2+2ay)}$$

$$dv = dy$$

$$\frac{dv}{\sqrt{(v^2-a^2)}} = dy:\sqrt{(y^2+2ay)}$$

Tab. XIII. Fig. 123. Quoniam $a^2dv:2\sqrt{(v^2-a^2)}$ est sector hyperbolicus CAM, abscissis a centro computatis (§. 179. (*Wolfii Math. Tom. 2.*) *Analys. infin.*); erit dimidius axis hyperbolæ æquilateræ $= a$ & CP $= v$, consequenter $a^2dy:\sqrt{(y^2+2ay)}$ exprimit eundem sectorem CAM, abscissa AP existente y. Patet itaque determinationem spatii in casu præsente pendere a quadratura hyperbolæ.

SCHOLION 1.

108. *Apparet ex his problematis, quam utile sit formulas omnes elementorum arcuum, segmentorum & sectorum pro sectionibus conicis aliisque curvis descriptu facilioribus atque cognitarum proprietatum reperire, sibique familiares reddere, ut formulæ non summabiles ad eas tanquam simpliciores reduci possint, quemadmodum & paulo ante vidimus* (§. 106.) *posse constructiones curvarum ad alias descriptu faciliores reduci, per quas construantur: cujus rei exempla quoque dedimus in Algebra* (§. 245. & *seqq. Analys. infinit.*).

SCHOLION 2.

109. *Potest etiam sectoris* CAM *elementum independenter a formula* $a^2dv:\sqrt{(v^2-a^2)}$ *inveniri hoc modo. Sit* AC $=$ CB $= a$, AP $= y$, *erit* PB $= 2a+y$, *consequenter ob* $PM^2 = AB \cdot PB$ (§. 507. *Analys. fin.*) $= 2ay+y^2$, PM $= \sqrt{(2ay+y^2)}$, *qua in* $\frac{1}{2}$ CP $= \frac{1}{2}(a+y)$ *ducta prodit area trianguli* CMP $= \frac{1}{2}(a+y)\sqrt{(2ay+y^2)}$. *Ergo* CmM + mMPp $= \frac{1}{2}dy\sqrt{(2ay+y^2)} + \frac{ady+ydy}{\sqrt{(2ay+y^2)}} \cdot \frac{a+y}{2} = \frac{2aydy+y^2dy+\frac{1}{2}a^2dy}{\sqrt{(2ay+y^2)}}$

Jam

Jam $mMPp = dy \sqrt{(2ay + y^2)} = \frac{2aydy + y^2dy}{\sqrt{(2ay + y^2)}}$. *Ergo* CmM *elementum sectoris* CMA $= \frac{\frac{1}{2}a^2dy}{\sqrt{(2ay + y^2)}}$

$$= \frac{a^2dy}{2\sqrt{(2ay + y^2)}}$$

DEFINITIO 18.

110. In motu continuo accelerato celeritatis incrementum tempusculo quocunque infinite parvo successive nascitur. Quamobrem quantitas motus eodem genita resolvitur in innumeras alias æqualibus illius tempusculi particulis natas. Particula istiusmodi elementaris quantitatis motus tempusculo infinite parvo genitæ dicitur *Sollicitatio ad motum.*

COROLLARIUM.

111. Quodsi ergo istæ particulæ ponantur æquales, quatenus spectantur ut effectus ab eadem causa tempusculis æqualibus producti; si sollicitatio ad motum dicatur g, erit nisus elementaris seu quantitas motus tempusculo dt genita $= gdt$.

PROBLEMA 9.

112. *Data accelerationis lege, determinare sollicitationem ad motum.*

RESOLUTIO.

Si sollicitatio sit g, erit quantitas motus tempusculo dt genita $= gdt$ (§. 111.). Sit incrementum celeritatis tempusculo isto $= dc$, massa mobilis $= m$. Quoniam tempusculo infinite parvo dt motus æquabilis supponitur; erit quantitas motus eodem genita $= mdc$ (§. 22.) Habemus itaque $mdc = gdt$, adeoque $g = mdc : dt$.

Quare si ex data accelerationis lege determinetur dt per c vel contra, prodibit valor ipsius g.

E. gr. In hxpothesi *Galilæana* gravium seu motu æquabiliter accelerato celeritas c est ut tempus t, adeoque dt ut dc. Quare g ut $mdc : dc$, hoc est, ut m. Quare patet.

Theorema: In hypothesi *Galilæana* gravium seu motu æquabiliter accelerato sollicitatio ad motum est ut massa, adeoque constans.

Si fuerit c ut t^n

erit $dc = nt^{n-1}dt$

$$g = \frac{mdc}{dt} = \frac{mnt^{n-1}dt}{dt}$$
$$= mnt^{n-1}$$
$$= mnt^n : t$$
$$= nmc : t$$

Theorema. Si celeritas crescit in ratione temporis multiplicata, erit sollicitatio ad motum ut factum ex massa in celeritatem ductum ulterius in exponnentem dignitatis temporis directe & ut tempus reciproce, hoc est, si duo fuerint mobilia, sollicitationes ad motum erunt in ratione composita ex directa massarum & celeritatum in exponentes dignitatis temporum

Digitized by Google

rum ductarum & reciproca temporum, nempe ut $\frac{NMC}{T}$ ad $\frac{nmc}{t}$ seu ut $NMCt$ ad $nmcT$.

PROBLEMA 10.

113. *Data sollicitatione ad motum, invenire mobilis motu continuo accelerato lati tum velocitatem in locis singulis, tum tempus, quo mobile ad locum datum pervenit.*

RESOLUTIO.

Tab. XIII. Fig. 122. b. Sit recta, per quam mobile fertur, AB & normaliter ad eam applicatæ AC, PN &c. sint ut sollicitationes ad motum in A, P &c. PM sit ut celeritas a mobili in P acquisita. Ducatur pn ipsi PN infinite propinqua & dicatur AC $= g$, AP$= r$, PN$= c$, massa mobilis$= m$; erit P$p = dr$. Sit porro tempusculum, quo mobile per Pp descendit, $= dt$: quia motus in spatiolo Pp æquabilis supponitur, erit

$c = dr:dt$ (§.37.) & $g = mdc:dt$ (§.112.)

$cdt = dr \qquad gdt = mdc$

$dt = dr:c \qquad dt = mdc:g$

$$\frac{dr}{c} = \frac{mdc}{g}$$

$$gdr = mcdc$$

$$\int gdr = \tfrac{1}{2}mc^2$$

Est vero $\int gdr$ area APNC & $\frac{1}{2}c^2 = \frac{1}{2}PM^2$. Quare si mobile fuerit idem, erit APNC ut PM^2 (§. 181. *Arithm.*).

Habemus itaque

Theorema. Si mobile quacunque sollicitatione urgetur, velocitas ejus in fine spatii dati AP acquisita est ut recta, quæ potest aream sollicitationum APNC, seu est in ratione subduplicata hujus areæ.

Porro tempus t reperitur hoc modo:

$$c = dr:dt \qquad \int gdr = \tfrac{1}{2}mc^2$$

$$\frac{2\int gdr}{m} = c^2$$

$$\frac{\sqrt{2\int gdr}}{\sqrt{m}} = c$$

$$dr:dt = \sqrt{2\int gdr}:\sqrt{m}$$

$$dr = dt.\sqrt{2\int gdr}:\sqrt{m}$$

$$\frac{dr}{\sqrt{2\int gdr}:\sqrt{m}} = dt$$

$$\int dr . \frac{1}{\sqrt{2\int gdr}:\sqrt{m}} = t$$

Quodsi ergo fiat PL$= \frac{1}{\sqrt{2\int gdr}:\sqrt{m}}$ seu mobili existente eodem, $= 1:\sqrt{2\int gdr}$, area DAPLE designabit tempus.

Ponamus jam AQ$=$R, QS$=$G, QT$=$C, erit C$= \sqrt{2\int GdR}$, mobili existente eodem, ut massa poni

 possit

possit 1, aut ejus nulla habenda sit ratio. Erit adeo

$$C : c = \sqrt{2\int GdR} : \sqrt{2\int gdr}.$$

Sed

$$QO : PL = \frac{1}{\sqrt{2\int GdR}} : \frac{1}{\sqrt{2\int gdr}}$$

$$= \sqrt{2\int gdr} : \sqrt{2\int GdR}$$

Ergo $QO : PL = c : C$

Habmus itaque

Theorema. Si mobile quacunque sollicitatione movetur motu continuo accelerato, erunt in temporibus, quibus spatia data AQ & AP conficit, QO & PL celeritatibus in fine illorum spatiorum acquisitis reciproce proportionales, nempe ut PM ad QT.

SCHOLION I.

114. *Consentit analysis cum iis, quæ* Newtonus (f) *demonstravit, nisi quod is vim centripetam vocet, quod nos* sollicitationem *appellamus. Communiter enim Mathematici celeritatem sumunt tanquam effectum vis motricis eidem proportionalem, atque adeo quantitatem motus tanquam mensuram vis illius. Quare cum* Newtonus *vim illam consideret ut urgentem mobile versus aliquod punctum fixum, eam centripetam appellat. Alii in casu descensus gravium gravitatem vocant, quia gravitas consideratur ut causa acceleratrix motus gravium & celeritas momentis singulis descendenti superaccedens tanquam effectus illius causæ.*

SCHOLION 2.

115. *Ex theorematis per problema præsens erutis omnia deducere licet, quæ de motu gravium in hypothesi* Galilæana *sive in alia quacunque demonstrantur. Etenim in hypothesi* Galilæana *est* c *ut* t, *adeoque* dc *ut* dt. *Jam* gdr = cdc (§. 113). *Ergo* gdr = cdt, *consequenter* gdr : dt = c, *adeoque ob* dr : dt = c (§. 38.) *erit* gc = c. *Cum adeo sit* g = 1, *gravitas in hypothesi* Galilæana *constans est, hoc est, elementa singula, ex quibus quantitas motus tempusculo infinite parvo constat, sunt inter se æqualia. Jam quia* g = 1, *erit in eadem hypothesi* $\int dr = \frac{1}{2}c^2$, *hoc est*, r *ut* c^2, (§. 181. *Arithm.*) *quemadmodum supra* (§. 86.). *Similiter cum in hypothesi* Baliani *sit* c *ut* r; *erit* gdr = rdr (§. 113.), *adeoque* g = r. *Jam initio descensus* r = 0: *ergo* g = 0, *hoc est, sollicitatio ad motum initio nulla est, seu phrasi communi Mathematicorum gravitas nulla est: quod cum sit absurdum, hypothesis* Baliana *impossibilis.*

COROLLARIUM I.

116. Quoniam $\int gdr$ = APNC continuo crescit, semiordinata PL = $1 : \sqrt{2\int gdr}$ continuo decrescit. Jam cum sit in A *dr* = 0; erit AD = 1 : 0 = ∞. Est igitur AD asymptotus curvæ temporis ELF.

SCHOLION 3.

117. *Hinc patet ratio, cur curva temporis* ELF *ita fuerit delineata, ut cum axe* AB *non concurrat, sicuti curva celeritatum* AMT, *neque rectam* AD *ad axem* AB *normalem secet, sicuti curva sollicitationum* CNS.

CO-

(f) In Princip. Phil. natural. mathemat. lib. 1. prop. 39. p. 120. edit. ult. Anglic.

Digitized by Google

COROLLARIUM 2.

118. Cum sit $gdr = cdc$ (§. 113.), adeoque $g = cdc : dr = PM . mR : Pp$; sollicitatio ad motum in quacunque accelerationis hypothesi erit ut subnormalis curvæ celeritatum (§. 35. *Analys. infin.*).

PROBLEMA II.

Tab. XIII. Fig. 123. b. 119. *Si sollicitatio centralis sit distantiæ a centro AD, PD &c. proportionalis, invenire velocitatem in quovis puncto P & tempus descensus per AP.*

RESOLUTIO.

Quoniam AD:PD=AC:PN *per hypoth.* scala sollicitationum centralium DC est linea recta & figura ADC triangulum (§. 268. *Geom.*). Sit $AD = a$, AP spatium descensus $= r$, PN sollicitatio in $P = g$, erit $PD = a - r$. Est vero PN ut PD *per hypoth.* adeoque g ut $a - r$. Quare cum sit (§. 113.).

$$\int g dr = \tfrac{1}{2} c^2$$

erit $\int a dr - \int r dr = \tfrac{1}{2} c^2$

$$ar - \tfrac{1}{2} r^2 = \tfrac{1}{2} c^2$$

$$2ar - r^2 = c^2$$

$$\sqrt{(2ar - r^2)} = c$$

Jam cum $AD = a$, $AP = r$: si ex centro D radio AD describatur Quadrans AIH, erit semiordinata $PI = \sqrt{(2ar - r^2)}$ (§ 377. *Anal. fin.*). Habemus itaque sequens

Theorema. Si sollicitatio centralis sit proportionalis distantiæ locorum a centro, velocitates in fine spatii acquisitæ sunt sinibus arcuum respondentium proportionales, circuli quadrante ex centro per locum initialem descripto.

Porro $dr = cdt$ (§. 101.)

Sed $c = \sqrt{(2ar - r^2)}$ *per demonstrata*

Ergo $dr = dt \sqrt{(2ar - r^2)}$

$$dt = dr : \sqrt{(2ar - r^2)}$$

$$t = \int \frac{dr}{\sqrt{(2ar - r^2)}}$$

Quoniam $a \int \frac{dr}{\sqrt{(2ar - r^2)}}$ est arcus AI (§. 157. *Analys. infin.*); erit tempus descensus per AP ut arcus circuli AI. Habemus itaque sequens

Theorema. In hypothesi problematis tempora descensus per spatia AP sunt ut arcus circuli AI ex centro D descripti.

Quodsi species curvæ celeritatum AMG desideretur, fiat $AC = b$. Cum sit AD:AC=DP:PN *per hyp.*

$$a : b = a - r :$$

erit $PN = g = (ab - br) : a = b - br : a$

Sed $\tfrac{1}{2} c^2 = \int g dr$ (§. 113.)

Ergo $\tfrac{1}{2} c^2 = \int b dr - \int b r dr : a$

$$= br - br^2 \, 2a$$

$$c^2 = 2br - br^2 : 2a$$

Patet

Digitized by Google

Patet itaque (§. 421. *Anal. finit.*) sequens

Theorema. In hypothesi problematis locum celeritatum AMG esse ellipsin, cujus parameter 2AC est dupla sollicitatio initialis, axis major 2AD dupla distantia mobilis initio descensus a centro.

Si $a=r$, erit $GD^2 = 2ab - 2a^2b : 2a = 2ab - ab = ab$, adeoque $GD = \sqrt{ab}$. Cum itaque GD sit axis dimidius conjugatus (§. 423. *Anal. fin.*); erit in D centrum ellipseos & AMG ejus quadrans.

COROLLARIUM.

120. Cum arcus AI & AH exponant tempora, quibus corpus quodvis per spatia AP & AD descendit, si sollicitationes fuerint distantiis a centro proportionales, per idem spatium corpus quodvis eodem tempore descendit, motu ex quiete ab eodem termino incipiente.

SCHOLION.

121 *Omnia hæc consona sunt iis, quæ* Newtonus (g) *demonstravit.*

CAPUT III.

DE CENTRO GRAVITATIS.

DEFINITIO 19.

122. *Centrum gravitatis* est, per quod corpus dividitur in duas partes æquiponderantes. Dicitur autem pars una *æquiponderare* alteri, si neutra alteram movet.

COROLLARIUM 1.

123. Quodsi ergo descensus centri gravitatis impeditur, grave quiescit.

COROLLARIUM 2.

124. Quare si corpus ex centro gravitatis suspenditur, grave non movetur.

COROLLARIUM 3.

125. Totam corporis gravitatem in centrum gravitatis coactam supponere licet, adeoque pro corpore gravi solum centrum gravitatis surrogari potest in demonstrationibus.

DEFINITIO 20.

126. *Diameter gravitatis* est recta transiens per centrum gravitatis.

COROLLARIUM.

127. Intersectio itaque duarum diametrorum determinat centrum gravitatis.

DEFINITIO 21.

128. *Planum gravitatis* est figura plana, in qua situm est centrum gravitatis.

COROLLARIUM.

129. Communis ergo intersectio duorum

(g) In Princip. Phil. nat. mathem. lib. 1. prop. 38. p. 119.

rum planorum gravitatis aut plurium est diameter gravitatis.

DEFINITIO 22.

130. *Gravia homogenea* sunt, quorum gravitates sunt voluminibus proportionales.

E. gr. Si grave dividas in partes quotcunque volumine æquales; singulæ erunt quoque pondere æquales.

DEFINITIO 23.

131. *Gravia heterogenea* sunt, quorum gravitates non sunt voluminibus proportionales.

E. gr. Si totum grave dividas in partes quotcunque volumine inæquales; singulæ inter se non erunt pondere æquales. Aut si duorum gravium partes sumas volumine æquales & eædem sint pondere inæquales; gravia inter se heterogenea sunt, licet in se homogenea esse possint.

DEFINITIO 24.

132. *Centrum magnitudinis* est punctum, per quod linea vel figura dividitur in duas partes æquales.

THEOREMA 22.

133. *Corpora quævis gravia ex quiete in medio non resistente eodem tempore per idem spatium cadunt.*

DEMONSTRATIO.

Descendat grave A per spatium r: erit tempus descensus ut $\sqrt{r}$ (§. 87.). Descendat etiam grave B per idem vel æquale spatium r: erit etiam tempus descensus ut $\sqrt{r}$ (§. 87.). Si ergo spatium descensus ex quiete idem est, tempus etiam descensus idem est. *Q. e. d.*

SCHOLION.

134. *Idem observatione confirmatur. Nam in spatio ab aëre vacuo, (quod quomodo obtineatur in Aërometria docemus) levissima plumula eodem tempore ex data altitudine descendit, quo globus plumbeus. Imo si corpora magna & ponderosa in aëre per æqualia intervalla demittantur, eodem tempore pavimentum attingunt, modo altitudines sint mediocres, monente* Hugenio (h). *Pendulorum inprimis experientia id doceri potest. Unde experimenta, quibus* Ricciolus *globos argillaceos 20 unciarum, & chartaceos, sed argillacea testa superinductos, mole istis æquales, sed pondere subduplo per intervallum 280 pedum demittens contrarium probare conatur* (i) *ideo non consentiunt, quia resistentia aëris in utroque globorum genere fuit admodum diversa.*

COROLLARIUM.

135. Quoniam corporum gravium ex quiete cadentium celeritates in fine temporis acquisitæ sunt ut tempus (§. 85. 68.); velocitates gravium descendentium ex quiete dato tempore æquales sunt.

THEOREMA 23.

136. *Materia, quæ cum corporibus movetur, etiam cum ipsis gravitat.*

DE-

(h) In Horologio oscillatorio part. 4. prop. 5.
(i) Almag. Nov. Tom. 1. lib. 2. c. 21. prop. 1. f. 89.

DEMONSTRATIO.

Quia velocitates gravium descendentium dato tempore æquales sunt (§. 135.); quantitates motus in fine illius temporis sunt ut materiæ, quæ cum ipsis movetur, quantitates (§. 46.). Jam vero gravitas est nisus versus centrum terræ (§. 4.), qui adest, ubi motus ex quiete inchoatur, adeoque illud quod quantitati motus accedit, consequenter sollicitatio ad motum (§ 110.). Sed sollicitatio est etiam massæ proportionalis (§. 112.). Ergo materia, quæ cum gravibus movetur, etiam cum ipsis gravitat. *Q. e. d.*

SCHOLION.

137. *Liquet jam veritas definitionis quintæ (§. 6.).*

COROLLARIUM 1.

138. Massa igitur corporum recte æstimatur per pondus.

COROLLARIUM 2.

139. Cum in corporibus homogeneis gravitates consequenter etiam massæ (§. 138.) voluminibus proportionales sint (§. 130.); quantitates motus in iis sunt in ratione composita celeritatum & voluminum (§. 45.) & si eadem celeritate ferantur, ut volumina (§. 46.): in quibus vero quantitates motus æquales sunt, eorum celeritates rationem voluminum reciprocam habent (§. 42.).

COROLLARIUM 3.

140. Massa invariata pondus non mutatur, quomodocunque varietur figura (§. 138.).

AXIOMA 5.

141. *In homogeneis, quæ secundum longitudinem in partes similes & æquales secari possunt, centrum gravitatis idem est cum centro magnitudinis.*

COROLLARIUM.

142. Quodsi ergo linea recta AB bifariam secetur in C; erit C centrum gravitatis. Tab. I. Fig. 2.

SCHOLION.

143. *Tale corpus homogeneum, quod secundum longitudinem in partes similes secari potest est e. gr. cylindrus plumbeus. Si enim longitudo* AE *concipiatur in tres partes æquales* DE, DC *&* CA *vel quotcunque plures divisa; secabitur in cylindros æquales, cum eorum bases & altitudines æquales sint* (§. 535. Geom.) *atque similes, cum altitudines sint ut diametri basium* (§. 570. Geom.). Tab. I. Fig. 3.

THEOREMA 24.

144. *Si centra gravitatis duorum corporum* A *&* B *jungantur recta* AB *centri gravitatis communis* C *distantiæ* BC *&* CA *a centris gravitatis particularibus* B *&* A *sunt reciproce ut pondera* A *&* B. Tab. I. Fig. 4.

DEMONSTRATIO.

Ponamus enim rectam AB divisam

visam esse in C in ratione reciproca ponderum A & B. Sit e. gr. pondus A 6 librarum, pondus B 2, & AC:CB=1:3. Concipiatur recta AB utrinque producta in D & E, donec BD=AC & AE=CB; erit EC=CD (§. 88. *Arithm.*). Concipiatur porro recta ED in 8 partes æquales divisa, quot nempe librarum sunt pondera junctim sumta, & quoniam gravitas non mutatur, quomodocunque varietur figura (§. 140.), gravitas corporum A & B per rectam ED æqualiter diffusa concipiatur, centris gravitatis manentibus in A & B. Diffundetur adeo gravitas ipsius B per FD & gravitas ipsius A per EF uniformiter (§. 142.), consequenter pondera A & B junctim sumta rectam ED repræsentabunt. Hujus vero centrum gravitatis commune est in C (§. *cit.*). Ergo idem est centrum gravitatis commune ponderum A & B. *Q. e. d.*

COROLLARIUM I.

145. Quodsi gravitates corporum A & B fuerint æquales, centrum gravitatis commune C erit in medio rectæ AB centra gravitatis conjungentis.

COROLLARIUM 2.

146. Quia A : B = BC : AC; erit A. AC = B. BC. Unde patet vires æquiponderantium æstimandas esse per factum ex massa in distantiam a centro gravitatis. Factum hoc *Momentum* ponderum vulgo vocant.

SCHOLION.

147. *Theorema hoc utilissimum experimento non ineleganti illustrari potest. Ex ligno parentur parallelepipeda plura inter se æqualia & quorum latitudo sit dupla profunditatis, longitudo vero sextupla latitudinis: quamvis necesse non sit, ut hæ rationes accurate observentur, sufficit enim longitudinem aliquoties excedere reliquas dimensiones. Parentur præterea alia quædam: unum sit longitudinis duplæ, alterum triplæ, tertium quadruplæ & ita porro. Quodsi parallelepipedum longitudinis duplæ colloces super latere prismatis trigoni, ita ut latus prismatis ipsum dividat in partes æquales* AC *&* BC*; partes* AC *&* CB *æquiponderabunt: quo ipso axioma* (§. 141.) *confirmatur. Collocetur porro parallelepipedum triplæ longitudinis* DE *ea lege super prismate, ut ejus latus ipsum dividat in partes* DF *&* FE*, quæ sunt in ratione subdupla: pars* FE *præponderabit. Quodsi vero tria parallelepipeda simplicis longitudinis ipsi* DF *superimposueris; quatuor parallelepipeda duobus* FK *&* KE *in unum* FE *conjunctis æquiponderabunt. Est enim ipsius* FE *centrum gravitatis in* K *& ipsius* DF *in medio* L *per experimentum primum. Distantiæ igitur centrorum gravitatis a fulcro* LF *&* FK *sunt ut* DF *&* FE *seu ut pondera* (§. 130. Mech. & 573. Geom.). *Est ergo ibi centrum gravitatis commune, ut habet theorema nostrum* (§. 144.) *Eodem modo deprehenduntur 9 prismata sibi mutuo superimposita æquiponderare uni* Tab. I. Fig. 5.

Digitized by Google

IH, *cujus longitudo illorum longitudinis tripla, & ita porro.*

COROLLARIUM 3.

Tab. I. Fig. 4. 148. Quoniam A : B : BC : AC (§. 144.); erit etiam A + B : A = BC + AC : BC (§. 190. *Arithm.*).

COROLLARIUM. 4.

149. Reperitur adeo centrum gravitatis duorum ponderum C, si factum ex pondere uno A in distantiam centrorum gravitatis separatorum AB (= AC + CB) dividatur per summam ponderum A & B (§. 302. *Arithm.*). Sit e. gr. A = 12, B = 4, AB = 24; erit BC = 24 . 12 : 16 = 18.

COROLLARIUM 5.

150. Quodsi pondus A detur & distantia centrorum gravitatis particularium AB una cum centro gravitatis communi C, reperitur pondus B = A . AC : BC (§. 302. *Arithm.*), hoc est, si momentum ponderis dati dividatur per distantiam ponderis quæsiti B a centro gravitatis communi (§. 146.). Sit e. gr. A = 12, BC = 18, AC = 6; erit B = 6 . 12 : 18 = 12 : 3 = 4.

PROBLEMA 12.

Tab. I. Fig. 4. 151. *Ponderum plurium datorum* a, b, c, d *centrum gravitatis commune in recta* AB *determinare.*

RESOLUTIO

1. Quæratur centrum gravitatis commune duorum ponderum *a* & *b* (§. 149.): quod sit in F.
2. In F concipiatur applicari pondus *a* + *b* duobus reliquis *a* & *b* æquale (§. 125.) & quæratur porro in recta FE centrum gravitatis commune ponderum *a* + *b* & *c* (§. 149.): quod sit in G.
3. Denique in G concipiatur applicari pondus *a* + *b* + *c* duobus *a* + *b* & *c* æquale (§. 125.) & quæratur inter ipsum & pondus *d* centrum gravitatis commune in recta GB (§. 149.): quod sit in H.

Est adeo H centrum gravitatis commune ponderum *a*, *b*, *c* & *d*. Patet etiam, quomodo sit progrediendum, si plura pondera dentur.

Sit e. gr. *a* = 20, *b* = 10, *c* = 15, *d* = 5, AC = 9, CE = 6, EB = 12: erit AF = *b*. AC : (*a* + *b*) = 10 . 9 : 30 = 3, adeoque FC = 6 & FE = FC + CE = 12. Hinc reperitur FG = *c*. FE : (*a* + *b* + *c*) = 15 . 12 : 45 = 4. Quare GE = FE − FG = 8 & GB = GE + EB = 20. Invenitur adeo GH = *d*. GB : (*a* + *b* + *c* + *d*) = 5 . 20 : 50 = 2. Unde HB = GB − GH = 18 & (ob AB = AC + CE + EB = 27) AH = 9.

PROBLEMA 13.

152. *Duobus ponderibus* D *&* E *extra centrum gravitatis commune in* C *suspensis, determinare, quodnam eorum & quantum præponderet.* Tab. I. Fig. 7.

RESOLUTIO.

1. Quodlibet pondus ducatur in distantiam suam a centro suspen-

ſpenſionis, nempe D in AC & E in BC: ex qua parte factum majus prodit, verſus eam eſt præponderatio.

2. Factum minus a majore ſubtrahatur: erit reſiduum præpondium.

E. gr. Sit D = 30 librarum, E = 20, AC = 2, BC = 4: erit D. AC = 60, E. BC = 80, adeoque E præponderat in B momento ut 20.

DEMONSTRATIO.

Sit AC:CB = *d*: *md* & pondus D = *mp*; æquiponderabit eidem in B pondus *p* (§ 144.). Sed pondus E majus eſt quam *p*. Dicatur ergo exceſſus *r*, ita ut ſit E = *p* + *r*. Quoniam momentum ipſius *r* æquale eſt momento ponderis in A eidem æquiponderantis, hoc vero reperitur *mrd* (§. 146.); exceſſus momenti ponderis E ſupra momentum alterius D eſt *mrd*. Sed *mrd* eſt differentia inter *mpd* & *mpd* + *mrd*, hoc eſt, inter D. AC & E. BC. Relinquitur adeo exceſſus momenti ipſius E ſupra momentum alterius D, ſi factum D. AC ex E. CB ſubtrahitur. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

153. Ponderum D & E itaque extra centrum gravitatis in C ſuſpenſorum momenta ſunt in ratione compoſita ipſorummet ponderum D & E & diſtantiarum a puncto ſuſpenſionis AC & CB.

COROLLARIUM 2.

154. Ponderis itaque ex ipſo puncto C ſuſpenſi momentum reſpectu reliquorum D & E nullum eſt, ſeu eadem ratione D & E inter ſe ponderant, ac ſi pondus in C plane abeſſet, quia ſcilicet diſtantia ejus nulla eſt.

PROBLEMA 14.

155. *Determinare præponderationem, ponderibus pluribus* a, b, c, d *extra centrum gravitatis in* C *ſuſpenſis.* Tab. I. Fig. 8.

RESOLUTIO.

1. Ducantur pondera *c* & *d* in ſuas diſtantias a puncto ſuſpenſionis CE & CB: ſumma dabit momentum ponderum *c* & *d* junctim ſeu ponderationem verſus dextram (§. 153.).

2. Ducantur quoque pondera *d* & *b* in ſuas diſtantias AC & CD: ſumma denuo dabit ponderationem verſus ſiniſtram (§. *cit.*).

3. Quodſi ergo ponderationem majorem a minore ſubtrahas, relinquetur tandem præponderatio quæſita.

E. gr. Sit AC = 6, DC = 4, CE = 5, CB = 8, *a* = 12, *b* = 15, *c* = 20, *d* = 8: erit ponderatio verſus dexteram = *c*. EC + *d*. CB = 20. 5 + 8. 8 = 164; verſus ſiniſtram = *a*. AC + *b*. DC = 12. 6 + 15. 4 = 132. Præponderant ergo *c* & *d* verſus dexteram momento ut 32

PROBLEMA 15.

Tab. I. Fig. 8. 156. *Ponderibus quotcunque extra centrum gravitatis in* C *suspensis & versus dexteram præponderantibus, determinare punctum* F, *ex quo si summa omnium ponderum suspendatur, eadem maneat præponderatio versus dexteram, quæ fuerat ante in dato ponderum* a, b, c, d *situ.*

RESOLUTIO.

1. Inveniatur momentum, quo pondera *c* & *d*, vel quotcunque fuerint, versus dexteram præponderant (§. 155.).

2. Cum momentum summæ ponderum in F suspendendæ eidem æquale esse debeat; momentum modo inventum erit factum ex CF in summam ponderum (§ 153.). Quare si per summam ponderum dividatur; quotus erit distantia CF, ex qua suspendenda est ponderum summa, ut eadem maneat præponderatio, quæ fuerat ante §. *210. Arithm.*).

E. gr. Sint omnia ut in problemate præcedente. Erit momentum, quo pondera versus dexteram præponderant 32. Quodsi hoc dividas per summam ponderum 55, quotus $\frac{32}{55}$ est distantia CF quæsita.

COROLLARIUM.

Tab. I Fig. 9. 157. Si elementa figurarum, quale *m* MN*n*, concipiantur instar ponderum ad axem AE appensorum & in vertice A punctum suspensionis; determinabitur punctum in AE, ex quo summa omnium ponderum suspensa eodem modo ponderat ac tota figura, hoc est, centrum gravitatis (§. 125.), summa momentorum omnium ponduscolorum per summam ponduscolorum divisa (§. 153.). Sit enim AP $=x$, MP $=y$, P$p=dx$; erit unum ponduscolum $2ydx$, summa omnium $2\int ydx$, momentum unius ponduscoli $2yxdx$ (§. 153), summa omnium $2\int yxdx$, consequenter distantia centri gravitatis a vertice AF $=\int yxdx:\int ydx$. Quodsi adeo differentialia $yxdx$ & ydx integrentur, ut in analysi infinitorum docuimus, centrum gravitatis determinatur.

PROBLEMA 16.

158. *Determinare centrum gravitatis in triangulo* BAC. Tab. I. Fig. 10.

RESOLUTIO.

Ducatur recta AD basin BC bifariam secans in D. Quoniam △ BAD = △DAC (§. *440. Geom.*); utrumque in totidem ponduscula ad communem axem AD eodem modo utrinque applicata resolvi potest; adeoque centrum gravitatis △BAC erit in AD (§. 122.). Illud igitur ut determinetur, fiat AD$=a$, BC$=b$, AP$=x$, MN$=y$; erit (§. *397. Geom.*).

$$AP : MN = AD : BC$$
$$x : y = a : b$$

Hinc $y=bx:a$. Ducatur AE$=c$ perpendicularis ad BC, erit AD: AE = AP : AQ (§. *396 Geom.*), adeoque AQ$=cx:a$ & Q$q=cdx:a$.

Unde

Digitized by Google

Unde momentum $yxdx = cbx^2 dx : a^2$ & $\int yxdx = cbx^3 : 3a^2$, quæ summa per aream trianguli AMN $= cbx^2 : 2a^2$ (§. 392. *Geom.*) divisa dat distantiam centri gravitatis a vertice $= 2a^2bcx^3 : 3a^2bcx^2 = \frac{2}{3}x$ (§. 157.). Quodsi pro x substituatur a; prodibit distantia centri gravitatis totius trianguli a vertice $\frac{2}{3}a = \frac{2}{3}$ AD.

PROBLEMA 17.

159. *Determinare centrum gravitatis in parabola.*

RESOLUTIO.

Tab. I. Fig. 9. Ad parabolam est

$ydx = a^{1:2}x^{1:2}dx$ (§. 103. *Anal. infin.*)

$xydx = a^{1:2}x^{3:2}dx$

$\int xydx = \frac{2}{5}a^{1:2}x^{5:2}$

sed $\int ydx = \frac{2}{3}a^{1:2}x^{3:2}$ (§. *cit.*)

Ergo $\int xydx : \int ydx = \frac{3}{5}x =$ AF (§. 157.).

PROBLEMA 18.

160. *Determinare centrum gravitatis in omnibus parabolis superiorum generum & curvis agnatis in infinitum.*

RESOLUTIO

In infinitis parabolis & curvis agnatis est § 105. *Analyf. infinit.*).

$ydx = a^{n:r}x^{m:r}dx$

$xydx = a^{n:r}x^{(m+r):r}dx$

$$\int xydx = \frac{r}{m+2r} a^{n:r}x^{(m+2r):r}$$

$$\int ydx = \frac{r}{m+r} a^{n:r}x^{(m+r):r} \text{ (§. cit.)}$$

$$\int xydx : \int ydx = \frac{m+r}{m+2r} x = \text{AF (§. 157.)}.$$

E. gr. in paraboloide cubicali $m=1$, $r=3$ (§. 519. *Analyf. finit.*). Ergo AF $= \frac{4}{7}$ AP.

In paraboloide biquadratico $m=1$, $r=4$. Ergo AF $= \frac{5}{9}$ AP.

In paraboloide furdesolidali $m=1$, $r=5$. Ergo AF $= \frac{6}{11}$ AP.

Si fuerit $ax^2 = y^3$; erit $m=2$, $r=3$, AF $= \frac{5}{8}$ AP.

Si $ax^3 = y^4$; erit $m=3$, $r=4$, AF $= \frac{7}{11}$ AP.

Si $ax^4 = y^5$; erit $m=4$, $r=5$, AF $= \frac{9}{14}$ AP.

COROLLARIUM.

161. Distantia ergo centri gravitatis a basi FP est $= x - \frac{m+r}{m+2r} \cdot x = \frac{mx+2rx-mx-rx}{m+2r} = \frac{r}{m+2r} \cdot x.$

E. gr. in parabola *Apolloniana* $m=1$, $r=2$. Ergo PF $= \frac{2}{5}$ AP.

In paraboloide cubicali $m=1$, $r=3$. Ergo PF $= \frac{3}{7}$ AP.

In curva, ad quam $ax^2 = y^3$, $m=2$, $r=3$. Ergo PF $= \frac{3}{8}$ AP.

PROBLEMA 19.

162. *Determinare centrum gravitatis in parabola exteriore AST.* Tab. I. Fig. 9.

RESOLUTIO.

Si AQ$=x$, QM$=y$, parameter $=1$; erit (§. 419. *Analys. finit.*) $x^2=y$ & hinc

$$xydx = x^3dx$$

$$\int xydx = \tfrac{1}{4}x^4$$

$$\int ydx = \tfrac{1}{3}x^3$$

$$\int xydx : \int ydx = \tfrac{3}{4}x = \tfrac{3}{4}AQ = AL.$$

PROBLEMA 20.

163. *Determinare centrum gravitatis in infinitis parabolis exterioribus superiorum generum & aliis curvis agnatis.*

RESOLUTIO.

Si parameter$=1$, pro infinitis parabolis superioribus & curvis agnatis est $x^r = y^n$ (§. 519. *Analys. finit.*). Quare

$$ydx = x^{r:n}dx$$

$$xydx = x^{(r+n):n}dx$$

$$\int xydx = \frac{n x^{(r+2n):n}}{r+2n}$$

$$\int ydx = \frac{n}{r+n}\, x^{(r+n):n}$$

$$\int xydx : \int ydx = \frac{r+n}{r+2n}.\quad x = AL.$$

E. gr. in paraboloide cubicali $r=3$, $n=1$. Ergo AL$=\frac{4}{5}$ AQ.

In paraboloide biquadratico $r=4$, $n=1$. Ergo AL$=\frac{5}{6}$ AQ.

In paraboloide surdesolidali $r=5$, $n=1$. Ergo AL$=\frac{6}{7}$ AQ.

In curva, ad quam $x^3=y^2$, $r=3$, $n=2$. Ergo AL$=\frac{5}{7}$ AQ.

In curva, ad quam $x^4=y^3$, $r=4$, $n=3$. Ergo AL$=\frac{7}{10}$ AQ.

PROBLEMA 21.

164. *Determinare centrum gravitatis in curva, ad quam* $b^2y = bx^2 - x^3$.

RESOLUTIO.

Quoniam $ydx = (bx^2dx - x^3dx) : b^2$ (§. 99. *Anal. infinit.*)

$$xydx = (bx^3dx - x^4dx) : b^2$$

$$\int xydx = x^4 : 4b - x^5 : 5b^2 = (5bx^4 - 4x^5) : 20b^2$$

$$\int ydx = x^3 : 3b - x^4 : 4b^2 = (4bx^3 - 3x^4) : 12b^2$$

$$\int xydx : \int ydx = \frac{12b^2(5bx^4 - 4x^5)}{20b^2(4bx^3 - 3x^4)} = \frac{15bx - 12x^2}{20b - 15x} = AF$$

Est adeo $20b - 15x : 15b - 12x = x :$ AF.

PROBLEMA 22.

165. *Determinare centrum gravitatis cujuslibet arcus circuli.*

RESOLUTIO.

Sit MP ad AB normalis ipsi DP Tab.
infinite propinqua; erit arculus I.
DM infinite parvus. Sit chordæ Fig.
DE arcus dati DHE diameter AB II.
parallela, quæ instar axis considere-
retur,

retur, ad quem pondufcula MD applicata, quorum adeo momenta erunt ut MD . PD (§. 153.). Quoniam itaque ad radium HC, qui arcum DE in H (§. 291. *Geom.*) bisecat, pondufcula & numero & momento æqualia utrinque disponuntur; transit is per centrum gravitatis (§. 122.). Sit jam PC = DG = x, DC = a, erit DR = Pp = dx. Jam cum sit angulus CDM rectus (§. 309. *Geom.*) & PDE itidem rectus (§. 230. *Geom.*), adeoque PDC = RDM (§. 91. *Arithm.*), suntque etiam anguli DRM & DPC recti *per construct.* erit MD : DR = DC : PD, (§. 267. *Geom.*) & hinc reperietur MD . PD = DR . DC = adx (§. 297. *Arithm.*). Summa ergo momentorum arcus DHax=DC . DG, quæ divisa per arcum DH centri gravitatis K distantiam a centro circuli C determinat (§. 157). Est itaque arcus DH : DG = DC : CK.

Quodsi pro DH ponatur quadrans AH & pro DG radius AC; prodibit distantia centri gravitatis semiperipheriæ AC² : AH, hoc est, distantia hæc CF est tertia proportionalis ad quadrantem & radium.

PROBLEMA 23.

166. *Determinare centrum gravitatis in sectore circuli* ACB.

RESOLUTIO.

Ex antecedentibus liquet, si DC sectorem bifariam secet, centrum gravitatis fore in recta DC. Ducatur radio PC arcus PNM & radio pC alius pnm alteri infinite propinquus. Quoniam segmentum annulare est pondufculum ex centro C suspensum, & quidem simul differentiale sectoris; erit momentum arcus PNM ductum in Pp seu Nn momentum segmenti annularis PNMmnp, hoc est, differentiale momenti sectoris. Jam momentum arcus ADB = 2AC . AD & momentum arcus PNM = 2PC . PN (§. 153.) & △ ACB = EC . AE atque △ PCM = Pn . Cn (§. 392. *Geom.*). Est igitur △ ACB : △ PCM = EC . AE : Cn . Pn & momenta arcuum ADB & PNM = AC . AE : PC . Pn (§. 181. *Arithm.* & §. 12. *Trigon.*). Est vero AC : PC = EC : Cn (§. 268 *Geom.*). Ergo △ ACB : △ PCM = AC . AE : PC . Pn (§. 184. *Arithm.*) consequenter momentum arcus ADB est ad momentum arcus PNM ut △ ACB ad △ PCM (§. 167. *Arithm.*), hoc est, ut AC² ad PC² (§. 399. *Geom.*). Sit jam arcus AD = p, AC = a, AE = b; erit momentum arcus ADB = $2ab$ (§. 153.). Sit porro PC = x; reperietur per modo

Tab. II. Fig. 12.

Digitized by Google

do demonstrata momentum arcus $n\,NM = 2abx^2 : a^2 = 2bx^2 : a$, momentum vero segmenti annularis $n\,Mmp = 2bx^2\,dx : a$. Hujus summa $2bx^3 : 3a$ est momentum sectoris CnM. Quare si fiat $x = a$, erit momentum sectoris $CAB = 2a^3b : 3a = \frac{2}{3}a^2b$, quo per summam ponderum seu aream sectoris $ACB = ap$ diviso, prodibit distantia centri gravitatis sectoris $ACB = 2ab : 3p = 2AC \,.\, AE : 3AD$. Est vero $AC \,.\, AE : AD$ distantia centri gravitatis arcus a centro circuli CF (§. 165.). Distantia igitur centri gravitatis sectoris a centro circuli est ad distantiam centri gravitatis arcus ut 2 ad 3.

COROLLARIUM.

Tab. I. Fig. 11. 167. Distantia ergo centri gravitatis semicirculi a centro circuli C sunt $\frac{2}{3} AC^2 : AH$ (§. 156.). Quare ut $\frac{2}{3}$ AH seu arcus 60° ad $\frac{2}{3}$ AC ita $\frac{2}{3}$ AC ad distantiam centri gravitatis semicirculi a centro circuli (§. 185. *Arithm.*).

PROBLEMA 24.

Tab. I. Fig. 11. 168. *Invenire centrum gravitatis segmenti* DHED.

RESOLUTIO.

1. Quæratur centrum gravitatis trianguli DCE (§. 158.): quod sit in L.
2. Quæratur centrum gravitatis sectoris DCEHD (§. 166.); quod sit in F.
3. Cum F sit commune centrum gravitatis trianguli DCE & segmenti DEHD; quæratur ad segmentum DEHD, triangulum DCE & LF quarta proportionalis FK: erit FK distantia centri gravitatis segmenti K a centro gravitatis sectoris F (§. 144.). Exprimenda vero est ratio segmenti ad triangulum lineis rectis: quod quidem accurate præstare licebit data circuli quadratura.

PROBLEMA 25.

Tab. II. Fig. 13. 169. *Invenire centrum gravitatis Lunulæ Hippocratis* ADBEA.

RESOLUTIO.

1. Quæratur centrum gravitatis semicirculi ADB (§. 156.): quod sit in G.
2. Quæratur porro centrum gravitatis segmenti AEBFA (§. 168.): quod sit in H.
3. Cum adeo G sit centrum gravitatis commune Lunulæ *Hippocratis* ADBEA & segmenti AEBA; quæratur ad Lunulam, segmentum & HG quarta proportionalis GI: erit GI distantia centri gravitatis Lunulæ I a centro gravitatis semicirculi G (§. 144.).

Ex-

Exprimenda vero est ratio segmenti AEBA ad Lunulam ADBEA lineis, nisi numeris utamur.

PROBLEMA 26.

Tab. I. Fig. 9. 170. *Invenire centrum gravitatis in parabola truncata* SMNH.

RESOLUTIO.

1. Quæratur centrum gravitatis parabolæ MAN (§. 159.): quod sit in F.
2. Quæratur item centrum gravitatis parabolæ SAH (§. *cit.*) quod sit in O.
3. Quoniam centrum gravitatis commune parabolæ MAN & parabolæ truncatæ SMNH in O; quæratur porro ad parabolam truncatam SMNH, parabolam MAN & distantiam FO quarta proportionalis OK: erit in K centrum gravitatis parabolæ truncatæ (§. 144.).

SCHOLION.

171. *Patet, eadem methodo, quam nunc uno alteroque exemplo illustravimus, semper inveniri centrum gravitatis differentiæ duarum figurarum, quarum centra gravitatis dantur.*

PROBLEMA 27.

Tab. II. Fig. 14. 172. *Invenire centrum gravitatis in parallelogrammo & parallelepipedo.*

RESOLUTIO.

1. Ducantur diagonales AD & EG, itemque CB & HF. Quoniam diagonalis utraque AD & CB parallelogrammum ACDB bifariam dividit (§. 337. *Geom.*); utraque per centrum magnitudinis (§. 132.), adeoque & gravitatis transit (§. 141.), consequenter in I est centrum gravitatis parallelogrammi. Eodem modo patet in K esse centrum gravitatis parallelogrammi EFGH. Similiter quia tam planum CBFH, quam ADGE parallelepipedum bifariam dividit (§. 537. *Geom.*); utrumque per centrum magnitudinis (§. 132.), adeoque et gravitatis ejus transit (§. 141.), consequenter communis intersectio IK est diameter gravitatis (§. 126.).
2. Dividatur IK bifariam in L. Quoniam planum transiens per L & basibus parallelum parallelepipedum bifariam dividit (§. 535. *Geom.*); per centrum gravitatis transit (§. 141.), adeoque in L gravitatis centrum est.

SCHOLION.

173. *Attendentibus statim manifestum est, non absimili modo centrum gravitatis in prismatibus & cylindris reperiri, esseque illud punctum medium rectæ centra gravitatis basium oppositarum conjungentis. In polygonis autem regularibus centrum gravitatis idem esse cum centro circuli circumscribendi, facile quoque intelligitur.*

Digitized

Quemadmodum vero centrum gravitatis ſegmentorum & ſectorum, imo lunularum circuli per ſuperiora inveniri poteſt; ita per problema præſens conſtat, quomodo variorum ſegmentorum cylindricorum centrum gravitatis inveniri poſſit, quorum nempe baſes ſunt circuli ſegmenta, ſectores, annuli, lunulæ.

PROBLEMA 28.

Tab. II. Fig. 15. 174. *Invenire centrum gravitatis coni & pyramidis.*

RESOLUTIO.

Centrum gravitatis coni eſſe in axe AC ſatis claret ex ſuperioribus. Si AP $= x$; P$p = dx$ & ponduſculum in cono eſt $prx^2dx : 2a^2$ (§. 198. *Analyſ. infinit.*), adeoque momentum ejus $prx^3dx : 2a^2$ (§. 153.). Hinc ſumma momentorum $prx^4 : 8a^2$, quæ per ſummam ponderum $prx^3 : 6a^2$ (§. 198. *Analyſ. infinit.*) diviſa dat diſtantiam centri gravitatis portionis AMN a vertice A $= 6a^2prx^4 : 8a^2prx^3 = \frac{3}{4}x = \frac{3}{4}$ AP, adeoque coni integri centrum gravitatis diſtat a vertice $\frac{3}{4}$ AC.

Eodem prorſus modo invenitur diſtantia centri gravitatis a vertice in pyramide $= \frac{3}{4}$ AC.

PROBLEMA 29.

Tab. II. Fig. 16. 175. *Invenire centrum gravitatis conoidis parabolici* ABCD *ex rotatione parabolæ Apollonianæ* ABC *circa axem* AC *geniti.*

RESOLUTIO.

Ponduſculum conoidis MNnm $= pxdx : 2r$ (§. 202. *Analyſ. infinit.*) adeoque momentum $= px^2dx : 2r$ (§. 153.), conſequenter ſumma momentorum $= px^3 : 6r$. quæ per ſummam ponderum $px^2 : 4r$ (§. 202. *Analyſ. infinit.*) diviſa dat diſtantiam centri gravitatis portionis conoidicæ AMFN a vertice A $= 4rpx^3 : 6rpx^2 = \frac{2}{3}x$. Eſt adeo diſtantia gravitatis a vertice in conoide parabolico ABD $= \frac{2}{3}$ AC.

PROBLEMA 30.

176. *Invenire centrum gravitatis conoidis paraboloidici ex rotatione paraboloidis cujuscunque* AMBC *circa axem* AC *geniti.*

RESOLUTIO.

Ponduſculum conoidis paraboloidici indefinitum eſt $px^{2:m}dx : 2r$ (§. 202. *Analyſ. infinit.*), adeoque momentum ejus $px^{(2+m):m}dx : 2r$ (§. 153.). Hinc ſumma momentorum $mpx^{(2+2m):m} : (4m+4)r$, quæ per ſummam ponderum $mpx^{(2+m):m} : (2m+4)r$ (§. 202. *Analyſ. infinit.*) diviſa dat diſtantiam centri gravitatis portionis conoidicæ MAN a vertice A $= (2m+4)mrpx^{(2+2m):m} : (4m+4)mrpx^2 = \frac{m+2}{2m+2}x = \frac{m+2}{2m+2}$ AP,

AP, consequenter in integro conoide $\frac{m+2}{2m+2}$ AC.

Sit e. gr. $m=2$; erit $AH=\frac{2}{3}AC$.
Sit $m=3$; erit $AH=\frac{5}{8}AC$.
Sit $m=4$; erit $AH=\frac{3}{5}AC$.
Sit $m=5$; erit $AH=\frac{7}{12}AC$.

PROBLEMA 31.

177. *Invenire centrum gravitatis segmenti sphæræ.*

RESOLUTIO.

In segmento sphærico ponduſculum $=pxdx-px^2dx:2r$ (§. 199. *Analyſ. infinit.*), adeoque momentum ejus $px^2dx-px^3dx:2r$ (§. 153.). Unde summa momentorum $\frac{1}{3}px^3-px^4:8r=(8rpx^3-3px^4):24r$, quæ per summam ponderum $\frac{1}{2}px^2-px^3:6r=(6rpx^2-2px^3):12r$ (§. 199. *Anal. infin.*) divisa definit distantiam centri gravitatis a vertice $=12r(8rpx^3-3px^4):24r(6rpx^2-2px^3)=(8rx-3x^2):(12r-4x)$. Est adeo ut $12r-4x$ ad $8r-3x$, hoc est, $3r-x$ ad $2r-\frac{3}{4}x$ (§. 185. *Arithm.*) ita x ad distantiam centri gravitatis a vertice.

COROLLARIUM.

178. Quodsi pro x substituatur r seu semidiameter sphæræ, prodibit distantia centri gravitatis a vertice in hemisphærio $(8r^2-3r^2):(12r-4r)=5r^2:8r=\frac{5}{8}r$. Eodem modo si pro x substituatur $2r$, sphæræ integræ centrum gravitatis reperitur distare a vertice semidiametro r, hoc est, idem cum centro sphæræ.

PROBLEMA 32.

179. *Invenire centrum gravitatis conoidis hyperbolici.*

RESOLUTIO.

In Conoide hyperbolico ponduſculum $=pbxdx:2r+pbx^2dx:2ar$ (§. 208. *Analyſ. infinit.*), adeoque momentum ejus $pbx^2dx:2r+pbx^3dx:2ar$ (§ 153.). Quare omnium momentorum summa $pbx^3:6r+pbx^4:8ar=(4apbx^3+3pbx^4):24ar$, quæ per summam ponderum $pbx^2:4r+pbx^3:6ar$ (§. *Analyſ. infinit. cit.*) $=(6apbx^2+4pbx^3):24ar$ divisa distantiam centri gravitatis a vertice determinat $(4apbx^3+3pbx^4):(6apbx^2+4pbx^3)=(4ax+3x^2):(6a+4x)$. Est adeo ut $6a+4x$ ad $4a+3x$, ita x ad distantiam centri gravitatis a vertice. Constat vero esse a axem transversum hyperbolæ genitricis, x altitudinem conoidis, seu illius absciſſam (§. 459. *Anal. fin.*).

PROBLEMA 33.

180. *Invenire centrum gravitatis segmenti sphæroidis elliptici.*

RESOLUTIO.

In sphæroide elliptico ponduſculum $pbxdx:2r-pbx^2dx:2ar$ (§. 203. *Analyſ. infinit.*), adeoque mo-

momentum ejus $pbx^3dx : 2r - pbx^3 dx : 2ar$ (§. 153.). Quare momentorum summa $pbx^3 : 6r - pbx^4 : 8ar = (4apbx^3 - 3pbx^4) : 24ar$, quæ per summam ponderum $pbx^2 : 4r - pbx^3 : 6ar$ (§. 203. *Analyſ. infinit.*) $= (6apbx^2 - 4pbx^3) : 24ar$ diviſa diſtantiam centri gravitatis a vertice determinat $(4apbx^3 - 3pbx^4) : (6apbx^2 - 4pbx^3) = (4ax - 3x^2) : (6a - 4x)$. Eſt adeo ut $6a - 4x$ ad $4a - 3x$, hoc eſt, ut $a - \frac{2}{3}x$ ad $\frac{2}{3}a - \frac{1}{2}x$ ita x ad diſtantiam centri gravitatis a vertice. Denotat autem a axem majorem ellipſis genetricis, ſeu ipſum axem majorem ſphæroidis; x autem altitudinem ſegmenti, ſeu portionem axis inter verticem & baſin interceptam (§. 420. *Analyſ. finit.*).

COROLLARIUM 1.

181. Quodſi pro x ponatur a, prodit pro centro gravitatis totius ſphæroidis elliptici $(4aa - 3aa) : (6a - 4a) = aa : 2a = \frac{1}{2}a$. Eſt nempe in medio axe.

COROLLARIUM 2.

182. Sphæræ igitur & ſphæroidis elliptici communem axem habentium centrum gravitatis idem eſt (§. 178.).

COROLLARIUM 3.

183. Si pro x ponatur $\frac{1}{2}a$, prodit diſtantia centri gravitatis in dimidio ſphæroide a vertice $(\frac{4}{2}aa - \frac{3}{4}aa) : (6a - \frac{4}{2}a) = \frac{5}{4}aa : 4a = \frac{5}{16}a$, eadem adeo quæ in hemiſphærio (§ 178.). Nam ſi ut ibi fiat $a = 2r$, erit $\frac{5}{16}a = \frac{10}{16}r = \frac{5}{8}r$.

PROBLEMA 34.

184. *Invenire centrum gravitatis in cono truncato* BMND *& in pyramide truncata.* Tab. II. Fig. 15.

RESOLUTIO.

1. Inveniatur centrum gravitatis coni AMN (§. 174.): quod ſit in F.
2. Inveniatur quoque centrum gravitatis coni majoris BAD (§. *cit.*): quod ſit in G.
3. Quæratur ad conum truncatum BMND, conum minorem MAN & FG quarta proportionalis GH: erit in H centrum gravitatis coni truncati (§. 144.).

Patet autem, rationem coni truncati BMND ad minorem MAN lineis eſſe exprimendam, niſi numeris utamur. Eodem prorſus modo invenitur centrum gravitatis in pyramide truncata.

SCHOLION.

185. *Eadem methodo centrum gravitatis reperies in conoidibus truncatis, itemque in ſphæra & ſphæroidibus truncatis. Enimvero quamvis multa adhuc ea de re addi poſſent; filum tamen abrumpi conſultum ducimus, cum ex hactenus dictis facile eruantur, nec multum in praxi habeant uſum. Adjiciemus itaque tantummodo adhuc methodum centrum gravitatis aut punctum ipſi in ſuperficie corporis cujuscunque reſpondens mechanice explorandi, quantum ad praxin ſufficit.*

PRO-

Digitized by Google

PROBLEMA 35.

186. *Determinare centrum gravitatis mechanice in corpore quocunque.*

RESOLUTIO.

Tab. II. Fig. 17. 1. Super fune extenſo aut latere priſmatis trigoni FG corpus datum HI huc illucque promoveatur, donec partes utrinque æquilibrentur: planum, cujus latus KL, tranſit per centrum gravitatis (§. 124.).

2. Super eodem corpus mutato ſitu æquilibretur: erit MN denuo latus plani per centrum gravitatis tranſeuntis (§. *cit.*).

Interſectio adeo rectarum MN & KL determinat punctum O in ſuperficie corporis quæſitum, quod nempe eſt in diametro gravitatis (§. 126.).

ALITER.

Tab. II. Fig. 18. 1. Corpus datum O ita collocetur ſuper tabula horizontali, ut, ſi vel minimum ultra terminum CD promoveretur, decideret: erit recta CD in plano gravitatis (§. 124.).

2. Imponatur idem corpus eidem tabulæ, ut nunc longitudo AB, quemadmodum ante latitudo CD, ſit lateri tabulæ parallela & vel minimum ultra terminum AB promotum decidat: erit recta AB in plano gravitatis (§. *cit.*).

Communis adeo interſectio rectarum AB & CD in ſuperficie corporis punctum C centro gravitatis imminens determinat (§. 126.).

ALITER.

Laminæ centrum gravitatis invenies, ſi cuſpidi alicujus ſtyli eam impoſueris & ultro citroque promoveris, donec partes utrinque æquilibrentur. Erit enim in puncto, quo ſuſtentatur, centrum gravitatis (§. 124.).

COROLLARIUM.

187. Corporis adeo humani in directum extenſi centrum gravitatis, vi modi primi, obſervante Borello (k), inter nates & pubim exiſtit. Quare totius corporis gravitas ibi colligitur, ubi genitalibus natura conceſſit locum.

SCHOLION.

188. *Quoniam ſubinde etiam in applicatione methodi ſuperioris diſtantia centri gravitatis a duobus planis in figuris planis, a tribus autem in ſolidis, ut illic per interſectionem duorum, hic trium normalium prodeat centrum gravitatis; ideo unum ſaltem exemplum apponimus, ut quomodo id fiat in aliis inde intelligatur. Et quia in corporibus ſuſpendendis utile etiam eſt noſſe perimetrorum centra gravitatis; ideo nec inconſultum videtur uno alteroque exemplo docere, quomodo methodus antea tra-*

(k) De motu animalium part. 1. prop. 134. p. m. 167.

tradita & exemplis illuſtrata (§. 157. & ſeqq.) *huc applicetur.*

PROBLEMA 36.

189 *Invenire centrum gravitatis in ſpatio parabolico mixtilineo* APM.

RESOLUTIO.

Tab. XIII. Fig. 124. Sit AR ad axem AB normalis & ſemiordinata pm alteri PM infinite propinqua. Quæratur primo diſtantia centri gravitatis ab axe AB nempe QL. Cum elementum PMmp, quod pro parallelogrammulo habetur (§. *98. Anal. infinit.*) conſideretur inſtar ponduſculi ad axem librationis AB in P ſuſpenſi, erit momentum ejus = PMmp. $\frac{1}{2}$ PM (§. 146.), centro gravitatis in medio parallelogrammuli extante (§. 172.). Sit jam AP $= x$, PM $= y$, erit P$p = dx$, adeoque PpmM $= ydx$, conſequenter momentum ponduſculi $\frac{1}{2}y^2dx$. Jam in parabola $y^2 = x$, parametro exiſtente 1 (§. *388. Anal. fin.*), atque hinc $2ydy = dx$. Quare momentum ponduſculi $\frac{1}{2}y^2dx = y^3dy$, eorumque ſumma $= \frac{1}{4}y^4$. Jam area APM ſeu ſumma omnium ponduſculorum $= \int ydx = \int 2y^2dy = \frac{2}{3}y^3$. Ergo QL $= \int \frac{1}{2}y^2dx : \int ydx$ (§. 157.) $= 3y^4 : 8y^3 = \frac{3}{8}y$. Quare ſi fiat AD $= \frac{3}{8}$ PM & ex puncto D ducatur DL ipſi AB parallela; erit in ea centrum gravitatis ſpatii mixtilinei APM.

Ducatur jam porro ex centro gravitatis O parallelogrammuli PMmp ad AR normalis OK, & conſideretur inſtar ponduſculi ad axem librationis AR ſuſpenſi, erit PMmp. OK momentum ejus $= xydx$. Eſt vero in parabola $y = x^{1:2}$ (§. *392. Anal. fin.*). Ergo momentum ponduſculi $= x^{3:2}dx$, conſequenter eorum ſumma $= \int xydx = \frac{2}{5}x^{5:2}$. Jam area APM ſeu ſumma omnium ponduſculorum $\int ydx = \frac{2}{3}x^{3:2}$ (§. *103. Anal. infin.*). Ergo DL $= \int xydx : \int ydx$ (§. 157.) $= 3x^{5:2} : 5x^{3:2} = \frac{3}{5}x$. Quare ſi fiat AQ $= \frac{3}{5}$ AP & in Q erigatur normalis QL ipſi DL paulo ante determinatæ occurrens in L; erit L centrum gravitatis ſpatii mixtilinei AMP, hic quidem parabolici.

PROBLEMA 37.

190. *Invenire centrum gravitatis perimetri trianguli.*

RESOLUTIO.

Sit triangulum ABC æquilaterum, vel ſcalenum. Tab. XIII.

1. Biſecentur rectæ in D, E & F: erunt puncta iſta centra gravitatis laterum AB, AC & BC (§. 142.). Fig. 125. 126.
2. Ducatur recta DE: qua in G bifariam diviſa in triangulo æquilatero, reciproce vero lateribus AB & AC in ſcaleno, erit G centrum gravitatis commune rectarum AB & AC (§. 149.).

3. Con-

3. Concipiatur in G pondus duabus rectis AB & AC instar ponderum consideratis æquale, & in F pondus rectæ BC æquivalens (§. 125) fiatque ducta recta GF ut AB + AC + BC : BC = GF : GH: erit in H centrum gravitatis commune trium rectarum AB, AC & CB (§. 149.).

PROBLEMA 38.

Tab. XIII. Fig. 127. 191. *Invenire centrum gravitatis perimetri figuræ irregularis cujuscunque*, v. gr *Pentagonæ*.

RESOLUTIO.

1. Bisecentur singula latera AE, ED, DC, CB, BA in G, F, K, I, H, erunt in istis divisionum punctis eorum centra gravitatis particularia (§. 142.).

2. Connectantur puncta G & H recta GH, fiatque AB + AE : AE = GH : HL; erit in L centrum gravitatis laterum AB & AE commune (§. 149.).

3. Jungantur puncta L & F recta FL, fiatque AB + AE + ED : ED = LF : LM; erit in M centrum gravitatis commune laterum AB, AE & ED (§. *cit.*).

4. Jungantur porro puncta M & I recta MI, fiatque AB + AE + ED + BC : BC = MI : MN; erit in N centrum gravitatis commune laterum AB, BC, AE & ED (§. *cit.*).

5. Denique jungantur puncta N & K recta NK; fiatque AB + BC + CD + DE + EA : DC = NK : NO; erit in O centrum gravitatis commune totius perimetri (§. *cit.*).

SCHOLION.

192. *Me non monente apparet, hac ratione determinari posse centrum gravitatis commune ponderum quorumcunque quomodocunque in eodem plano sitorum.*

THEOREMA 25.

193. *Omnis figura sive superficialis, sive solida, quæ motu lineæ aut figuræ generatur, æquatur facto ex magnitudine generante in viam ejus centri gravitatis, seu lineam, quam centrum gravitatis describit.*

DEMONSTRATIO.

Concipiamus pondus totius magnitudinis generantis in centro gravitatis collectum (§. 125.); erit totum pondus motu illius productum æquale facto ex pondere moto in viam centri gravitatis. Sed cum lineæ & figuræ instar gravium homogeneorum considerentur; pondera ipsarum sunt ut volumina (§. 130.), adeoque pondus motum est magnitudo generans, pondus productum genita. Quare figura genita æquatur facto ex magnitudine generante in viam ejus centri gravitatis. *Q. e. d.*

ALI-

tradita & exemplis illustrata (§. 157. & seqq.) *huc applicetur.*

PROBLEMA 36.

189 *Invenire centrum gravitatis in spatio parabolico mixtilineo* APM.

RESOLUTIO.

Tab. XIII. Fig. 124. Sit AR ad axem AB normalis & semiordinata *pm* alteri PM infinite propinqua. Quæratur primo distantia centri gravitatis ab axe AB nempe QL. Cum elementum PM*mp*, quod pro parallelogrammulo habetur (§. *98. Anal. infinit.*) consideretur instar ponduscuthe ad axem librationis AB in P suspensi, erit momentum ejus $= PMmp \cdot \frac{1}{2} PM$ (§. 146.), centro gravitatis in medio parallelogrammuli extante (§. 172.). Sit jam $AP=x$, $PM=y$, erit $Pp=dx$, adeoque $PpmM=ydx$, consequenter momentum pondusculi $\frac{1}{2}y^2dx$. Jam in parabola $y^2=x$, parametro existente 1 (§. *388. Anal. fin.*), atque hinc $2ydy=dx$. Quare momentum pondusculi $\frac{1}{2}y^2dx = y^3dy$, eorumque summa $= \frac{1}{4}y^4$. Jam area APM seu summa omnium ponduscculorum $= \int ydx = \int 2y^2dy = \frac{2}{3}y^3$. Ergo $QL = \int \frac{1}{2}y^2dx : \int ydx$ (§. 157.) $= 3y^4 : 8y^3 = \frac{3}{8}y$. Quare si fiat $AD = \frac{3}{8}PM$ & ex puncto D ducatur DL ipsi AB parallela; erit in ea centrum gravitatis spatii mixtilinei APM.

Ducatur jam porro ex centro gravitatis O parallelogrammuli PM*mp* ad AR normalis OK, & consideretur instar pondusculi ad axem librationis AR suspensi, erit $PMmp \cdot OK$ momentum ejus $= xydx$. Est vero in parabola $y = x^{1:2}$ (§. *392. Anal. fin.*). Ergo momentum ponduscculi $= x^{3:2}dx$, consequenter eorum summa $= \int xydx = \frac{2}{5}x^{5:2}$. Jam area APM seu summa omnium ponduscculorum $\int ydx = \frac{2}{3}x^{3:2}$ (§. *103. Anal. infin.*). Ergo $DL = \int xydx : \int ydx$ (§. 157.) $= 3x^{5:2} : 5x^{3:2} = \frac{3}{5}x$. Quare si fiat $AQ = \frac{3}{5}AP$ & in Q erigatur normalis QL ipsi DL paulo ante determinatæ occurrens in L; erit L centrum gravitatis spatii mixtilinei AMP, hic quidem parabolici.

PROBLEMA 37.

190. *Invenire centrum gravitatis perimetri trianguli.*

RESOLUTIO.

Sit triangulum ABC æquilaterum, vel scalenum. Tab. XIII.

1. Bisecentur rectæ in D, E & F: erunt puncta ista centra gravitatis laterum AB, AC & BC (§. 142.). Fig. 125. 126.
2. Ducatur recta DE: qua in G bifariam divisa in triangulo æquilatero, reciproce vero lateribus AB & AC in scaleno, erit G centrum gravitatis commune rectarum AB & AC (§. 149.).

3. Con-

3. Concipiatur in G pondus duabus rectis AB & AC instar ponderum consideratis æquale, & in F pondus rectæ BC æquivalens (§. 125.) fiatque ducta recta GF ut AB+AC+BC : BC = GF : GH: erit in H centrum gravitatis commune trium rectarum AB, AC & CB (§. 149.).

PROBLEMA 38.

Tab. XIII. Fig. 127. 191. *Invenire centrum gravitatis perimetri figuræ irregularis cujuscunque*, v. gr. *Pentagonæ*.

RESOLUTIO.

1. Bisecentur singula latera AE, ED, DC, CB, BA in G, F, K, I, H, erunt in istis divisionum punctis eorum centra gravitatis particularia (§. 142.).
2. Connectantur puncta G & H recta GH, fiatque AB + AE: AE = GH : HL; erit in L centrum gravitatis laterum AB & AE commune (§. 149.).
3. Jungantur puncta L & F recta FL, fiatque AB + AE + ED : ED = LF : LM; erit in M centrum gravitatis commune laterum AB, AE & ED (§ *cit*).
4. Junguntur porro puncta M & I recta MI, fiatque AB + AE + ED + BC : BC = MI : MN; erit in N centrum gravitatis commune laterum AB, BC, AE & ED (§. *cit.*).
5. Denique jungantur puncta N & K recta NK; fiatque AB + BC + CD + DE + EA : DC = NK : NO; erit in O centrum gravitatis commune totius perimetri (§. *cit.*).

SCHOLION.

192. *Me non monente apparet, hac ratione determinari posse centrum gravitatis commune ponderum quorumcunque quomodocunque in eodem plano sitorum.*

THEOREMA 25.

193. *Omnis figura sive superficialis, sive solida, quæ motu lineæ aut figuræ generatur, æquatur facto ex magnitudine generante in viam ejus centri gravitatis, seu lineam, quam centrum gravitatis describit.*

DEMONSTRATIO.

Concipiamus pondus totius magnitudinis generantis in centro gravitatis collectum (§. 125.); erit totum pondus motu illius productum æquale facto ex pondere moto in viam centri gravitatis. Sed cum lineæ & figuræ instar gravium homogeneorum considerentur; pondera ipsarum sunt ut volumina (§. 130.), adeoque pondus motum est magnitudo generans, pondus productum genita. Quare figura genita æquatur facto ex magnitudine generante in viam ejus centri gravitatis. *Q. e. d.*

ALI-

ALITER.

Tab. XIII. Fig. 124. Idem etiam analytice ostenditur de solido rotatione genito hoc modo. Sit $AP = x$, $PM = y$ & ratio radii ad peripheriam circuli $= r : p$; erit solidum rotatione genitum $= \int py^2 dx : 2r$ (§. 197. *Analys. infin.*). Sit jam in L centrum gravitatis & $QL = PS$ distantia ejus ab axe AB; erit peripheria circuli radio PS descripti via rotationis centri gravitatis. Quare cum sit $PS = \frac{1}{2}\int y^2 dx : \int ydx$ (§. 189.); erit via rotationis centri gravitatis $= p\int y^2 dx : 2r\int ydx$. Quare si in hanc viam ducatur planum generans $\int ydx$; erit solidum rotatione genitum $= p\int y^2 dx : 2r$, ut ante.

COROLLARIUM 1.

Tab. II. Fig. 19. 194. Hinc cum parallelogrammum ABDC describatur, si recta AB juxta ductum alterius AC motu sibi semper parallelo descendat (*§. 102. & 233. Geom.*) & ex cor. 2. theor. 26. (§. 215.) independenter ab his constet, viam centri gravitatis E æqualem esse rectæ FE ad CD perpendiculari, hoc est, altitudini parallelogrammi (*§. 217. Geom.*); area ejusdem æquatur facto ex basi CD seu linea describente in altitudinem EF.

SCHOLION 1.

195. Hæc consona sunt iis, quæ de parallelogrammorum areis investigandis demonstrata sunt in Geometria (§. 370. 375. 387. Geom.).

COROLLARIUM 2.

196. Eodem modo liquet, omnium corporum, a figura plana quacunque juxta ductum alicujus rectæ AC descendente genitorum, soliditatem haberi, si planum describens per altitudinem multiplicetur.

SCHOLION 2.

197. Hæc denuo consentiunt cum iis, quæ de prismatis & cylindris dimetiendis in Geometria demonstrata sunt (§. 539. & 541. Geom.).

COROLLARIUM 3.

198. Cum circulus describatur, si radius CL circa centrum C rotetur (§. *131. Geom.*); centrum vero gravitatis radii CL sit in medio F (§. 142.); via centri gravitatis est peripheria circuli X radio subduplo descripta, consequenter area circuli æquatur facto ex radio CL in peripheriam radio subduplo CF descriptam. Tab. II. Fig. 20.

SCHOLION 3.

199. Hæc iis consentanea esse, quæ in Geometria de circulo demonstrata sunt (§. 410. Geom.), *statim patet consideranti, quod peripheria radio subduplo descripta sit peripheriæ integro descriptæ dimidia* (§. 412. Geom.).

COROLLARIUM 4.

200. Si rectangulum ABCD circa axem AD rotetur, ipsum quidem cylindrum, latus vero BC cylindri superficiem describit (*§. 465 Geom.*). Est vero centrum gravitatis rectæ BC in medio F (§. 142.) & centrum gravitatis plani generantis in medio G rectæ EF; via adeo hujus est peripheria circuli radio EG, illius vero peripheria circuli radio EF descripta. Quare superficies cylindri est factum ex altitudine BC in peripheriam circu- Tab. II. Fig. 21.

pheriam circuli radio EF descriptam sive basin, ut in Geometria demonstravimus (§. 516. Geom.): soliditas vero cylindri est factum ex rectangulo generante ABCD in peripheriam circuli radio EG, qui est ipsius EF seu semidiametri cylindri subduplus, descriptam.

SCHOLION 4.

201. *Sit altitudo plani describentis, adeoque cylindri*, BC = a, *semidiameter basis* DC = r, *erit* EG = $\frac{1}{2}$r &, *posita ratione semidiametri ad peripheriam* = 1 : m, *peripheria radio* $\frac{1}{2}$r *descripta* = $\frac{1}{2}$mr. *Ducta igitur* $\frac{1}{2}$mr *in aream rectanguli* AC = ar; *erit soliditas cylindri* = $\frac{1}{2}$mar². *Est vero* $\frac{1}{2}$ mar² = $\frac{1}{2}$r . mr . a & $\frac{1}{2}$r . mr *area circuli radio* DC *descripti. Constat ergo cylindrum reperiri æqualem facto ex basi in altitudinem, ut in Geometria* (§. 541.) *demonstratum.*

COROLLARIUM 5.

Tab. II. Fig. 15. 202. Similiter cum centrum gravitatis rectæ AB sit in medio M (§. 142.) & superficies coni describatur, si triangulum ABC circa axem AC rotetur (§. 467. Geom.), sitque præterea PM = $\frac{1}{2}$ BC (§. 268. Geom.), superficies coni æqualis est facto ex ejus latere AB in peripheriam radio PM, seu semidiametri baseos BC subduplo descriptam.

SCHOLION 5.

203. *Sit* BC = r, AB = a, *ratio radii ad peripheriam* 1 : m; *erit* PM = $\frac{1}{2}$r & *peripheria hoc radio descripta* = $\frac{1}{2}$mr. *Ducta igitur* $\frac{1}{2}$ mr *in latus coni* AB, *prodit superficies* $\frac{1}{2}$ amr. *Sed* $\frac{1}{2}$ amr *est etiam factum ex* $\frac{1}{2}$a & mr. *Ergo superficies coni producitur ex peripheria baseos in latus dimidium, ut in Geometria* (§. 519.) *demonstratum.*

COROLLARIUM 6.

204. Si triangulum ACB circa axem AB rotetur, conum describit (§. 467. Geom.). Sed si CB divisa bifariam in D ducatur recta AD, fiatque AO = $\frac{2}{3}$ AD; erit in O centrum gravitatis (§. 158.). Æquatur ergo coni soliditas facto ex triangulo CAB in peripheriam radio PO descriptam (§. 193.). Est vero AD : AO = DB : OP (§. 268. Geom.). Sed AO = $\frac{2}{3}$ AD & DB = $\frac{1}{2}$ B *per demonstrat.* Ergo OP = $\frac{2}{3}$ DB = $\frac{1}{3}$ CB. Tab. II. Fig. 22.

SCHOLION 6.

205. *Sit* CB = r, AB = a, *ratio radii ad peripheriam* = 1 : m; *erit* OP = $\frac{1}{3}$r, *peripheria hoc radio descripta* $\frac{1}{3}$ mr, △ ACB = $\frac{1}{2}$ar, *adeoque soliditas coni* $\frac{1}{3}$ mr. $\frac{1}{2}$ar = $\frac{1}{6}$ amr². *Est vero etiam* $\frac{1}{6}$ amr² = $\frac{1}{2}$r . mr . $\frac{1}{3}$ a, *seu factum ex basi coni in tertiam altitudinis partem, ut in Geometria aliunde demonstratum* (§. 548. Geom.).

SCHOLION 7.

206 *Elegans hoc theorema, quod inter præcipua seculi superioris in Geometria inventa referri solet, jam olim* Pappus *commemoravit* (l); *sed* Paulus Guldinus, *e Societate Jesu, expressius plurimorum exemplorum inductione ostendit* (m). *Usi sunt*

(l) Sub finem præfat. ad lib. 7. Collect. Mathem.
(m) Lib. 2. & 3 de centro gravitatis.

sunt eodem Geometra, præsertim ante inventum a Leibnitio *calculum summatorium, cum* Guldino, *quemadmodum indicaverat* Pappus, *in dimetiendis solidis & superficiebus motu rotationis circa axem fixum genitis: sed idem usum habere adhuc potest in quibusdam casibus, ubi calculi summatorii ope idem difficilius præstaretur. Ego in tyronum gratiam exemplis tritis regulam illustrare volui, ut vim ejus tanto facilius animo comprehenderent, simulque ostendi, eidem locum esse, si magnitudines alio, quam rotationis motu generentur, quemadmodum fieri posse a* Guldino *etiam annotatum reperio* (n)*: unde nec cum* Pappo *ad solum rotationis motum theorema restrinxi. Illustris* Leibnitius (o) *invenit, succedere quoque negotium, si axis vel centrum continuo mutetur, durante motu generante.*

CAPUT IV.
DE
QUIETE ET LAPSU CORPORUM GRAVIUM.

DEFINITIO 25.

207. *Linea horizontalis vera est,* cujus singula puncta a centro telluris æqualiter distant.

COROLLARIUM.

208. Linea horizontalis est arcus circuli ex centro telluris per punctum datum descriptus (§. 37 41. Geom.).

DEFINITIO 26.

Tab. II. Fig. 20. 209. *Linea horizontalis apparens* FD est recta, quæ veram in dato puncto A tangit.

COROLLARIUM.

210. Est adeo ad semidiametrum telluris in puncto contactus A perpendicularis (§. 304. Geom.).

DEFINITIO 27.

211. *Lapsus* est mutatio situs vi gravitatis.

THEOREMA 26.

212. *Si corpora gravia versus centrum terræ nituntur, linea directionis eorundem ad lineam horizontalem est perpendicularis & contra.*

DEMONSTRATIO.

I. Si corpora gravia versus centrum terræ nituntur, linea directio- Tab. II. Fig. 20.

(n) Lib. 2. c. 8. prop. 3. f. 147.
(o) In Actis Erudit. A. 1695. p. 493.

Digitized by Google

rectionis eorundem semidiametro telluris in directum jacet (§ 17.). Ergo ad lineam horizontalem tam veram (§ *209. Mech.* & § *38. Anal infin.*), quam apparentem perpendicularis (§. 209). *Quod erat unum.*

II. Si linea directionis gravium ad horizontalem perpendicularis, semidiametro telluris in directum jacet (§. 206.). Continuata igitur in centrum telluris incidit (§. *470. Geom.*). *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM.

213. Cum terra sit propemodum sphærica, ut in Geographia demonstratur, ingentes marium tractus, immo omnium fluidorum tractuumque terrestrium æquabilium superficies in omnibus suis punctis a centro telluris æqualiter absunt (§. *471. Geom.*). Quare cum experientia constet gravia per lineas perpendiculares ad superficiem aquarum descendere; gravia niti versus centrum telluris inde evincitur.

SCHOLION.

214. Quodsi terræ figura non sit perfecte sphærica, ex descensu perpendiculari gravium concludi nequit, quod versus centrum illius nitantur: cum in solo circulo, cujus rotatione sphæra generatur, normales ad peripheriam in centro concurrant (§ 38. Analys. infinit.) *Sed suo loco, ubi de figura telluris agemus, patebit, utique assumi posse citra erroris assignabilis periculum, gravia niti versus centrum terræ. Immo in staticis sufficit, descensum perpendicularem ad libellam aquarum experientia constare.*

COROLLARIUM 2.

215. Quoniam pro corpore gravi, salva gravitate, solum gravitatis centrum substitui potest (§. 125); linea directionis corporis gravis est recta ex centro gravitatis ad lineam horizontalem sive apparentem, sive veram perpendicularis.

PROBLEMA 39.

216. *Data semidiametro Telluris* AC *vel* LC *una cum longitudine lineæ horizontalis apparentis* AD, *determinare distantiam puncti extremi* D *a linea horizontali vera* AL. Tab. II. Fig. 20.

RESOLUTIO.

1. Quadrato semidiametri Telluris AC addatur quadratum lineæ horizontalis apparentis AD.
2. Ex aggregato extrahatur radix, quæ erit recta CD (§. *417. Geom.*).
3. Inde subtrahatur semidiameter CL: quod relinquitur, est distantia lineæ horizontalis apparentis a vera DL.

E. gr. Ponamus semidiametrum telluris, qualis vulgo statuitur, 860 milliarium Germanicorum & AD unius milliaris: erit

Digitized by Google

$$AC^2 = 739600$$
$$AD^2 = \quad 1$$
$$DC^2 = 739601$$
Unde $DC = 860\,00057$
$$CL = 860$$

$$LD = 0{,}00057 \text{ seu } \frac{57}{100000}$$

ALITER.

Quoniam $GD : AD = AD : DL$ (§. *334. Geom.*); erit $DL = AD^2 : GD$ (§. *302. Arithm.*). Est vero DL ipsius GL seu diametri telluris particula admodum exigua, quippe in distantia milliaris demum $\frac{57}{100000}$ unius milliaris, seu $\frac{57}{172000000}$ diametri telluris. Quamobrem $AD^2 : GL$ sensibiliter non differt a $AD^2 : GD$. Ut itaque habeatur DL, quadratum lineæ horizontalis apparentis AD dividatur per diametrum telluris GL.

E. gr. Sit AD 900 pedum Parisinorum seu 129600 linearum (pes enim Parisinus continet 12 digitos, digitus 12 lineas), diameter telluris juxta *Picardum* (p) 39231564 pedum Parisinorum seu linearum 5649345216. Quodsi ergo $AD^2 = 16796160000$ per $GL = 5649345216$ dividas, prodibit DL fere 3 linearum.

(p) Traité du Nivellement p. 196.
(q) loc. cit. c. 1. p. 7.

SCHOLION.

217. *Hac posteriore methodo* Picardus (q) *tabulam construxit, quam huc transferre in usum futurum libuit. Continet autem columna prima longitudinem lineæ horizontalis apparentis* AD *in pedibus Parisinis; altera puncti extremi* D *altitudinem* DL *supra lineam horizontalem veram* AL.

AD	DL	AD	DL
300 ped.	0 dig. $0\frac{1}{3}$ lin	3300 ped.	3 dig. 6 lin.
600	$1\frac{1}{3}$	3600	4. 0
900	3	3900	4. 8
1200	$5\frac{1}{3}$	4200	5. 4
1500	$8\frac{1}{3}$	4500	6. 3
1800	1. 0	4800	7. 1
2400	1. $9\frac{1}{3}$	5400	8. 11
2700	2. 3	5700	10. 0
3000	2. 9	6000	11. 0

COROLLARIUM.

218. Si linea horizontalis apparens AD 300 pedes non excedit; citra errorem sensibilem pro vera assumi, consequenter etiam planum aliquod pro horizontali haberi potest.

PROBLEMA 40.

219. *Explorare, utrum planum aliquod propositum sit horizontale, nec ne.*

RESOLUTIO.

1. Ex trabeculis ligneis construatur triangulum æquicrurum FCG, Tab. II. Fig. 23.

FCG, continuatis cruribus in A & B, quo longius, eo melius.

2. Ex vertice C suspendatur globus plumbeus D & basis trianguli FG dividatur bifariam in E.

3. Libella sic constructa collocetur super plano dato, ita ut cruribus suis AC & CB eidem insistat.

Dico, si filum CD transeat per punctum medium E, planum esse horizontale.

DEMONSTRATIO.

Quia globus plumbeus D filum CD gravitate sua extendit, pro linea directionis recte habetur (§. 17.). Quodsi ergo FG bifariam secet in E; erit ad FG perpendicularis (§. *184. Geom*). Quoniam vero AC = CB *per construct.* adeoque AC : CB = CF : CG; erit $x = o$ (§. *207. Geom.*), consequenter AB ipsi FG parallela (§. *255. Geom.*) & CD etiam ad AB (§. *230. Geom.*), hoc est, linea directionis globi ad planum, cui libella insistit, perpendicularis. Planum adeo horizontale est (§. 212.).

SCHOLION.

220. Figura instrumenti variis modis mutari solet, eodem tamen semper manente fundamento. Quemadmodum vero ad praxes staticas plerumque sufficit; ita inferius artem libellandi exposituri alia libellarum genera hac accuratiora describemus, quarum beneficio linea horizontalis per tractus amplissimos continuatur.

DEFINITIO 28.

221. Per *Basin corporis gravis* intelligo figuram, in cujus perimetro circumcirca terminantur partes incumbentes aut fulcra, quibus ipsæ incumbunt. Tab. II. Fig. 20.

E. gr. incumbat corpus grave duobus fulcris quadrangularibus CD & EF, figura CDEF dicetur basis ejus.

THEOREMA 27.

222. Si linea directionis corporis gravis intra basin cadit, nec corpus pluribus fulcris innixum proprio pondere satis incurvatur; corpus in situ suo acquiescit: sin illa extra basin cadit vel corpus pluribus fulcris innixum proprio pondere satis incurvatur, in eam labitur partem, versus quam cadit centrum gravitatis.

DEMONSTRATIO.

I. Incumbat corpus GB plano cuidam alteri firmo ac stabili AF EB, sitque linea directionis CD. Cum hæc ex centro gravitatis C educatur (§. 215.); centrum gravitatis descendere nititur per rectam CD (§. 19.). Sed juxta eandem ipsi renititur corpus, cui incumbit, idque satis firmum ac stabile, ut cedere nesciat *per hypoth.* descensus adeo centri gravitatis im- Tab. II. Fig. 25.

Digitized by Google

impeditur (§. 75.) adeoque corpus quiescit (§. 123.). *Quod erat unum.*

Tab. II. Fig. 24. II. Incumbant extrema alicujus corporis duobus fulcris FE & DC, & linea directionis IL intra basin FEDC cadat. Quoniam linea directionis ex centro gravitatis I ducitur (§. 215.); centrum gravitatis per rectam IL descendere nititur (§. 19.). Sed corpus proprio pondere eousque incurvari nequit, ut a fulcris recedant ejus extrema, *per hypothes.* Ergo centrum gravitatis impeditur, quo minus descendat, consequenter corpus in hoc situ acquiescit (§. 123). *Quod erat secundum.*

Tab. II. Fig. 26. III. Cadat linea directionis CM corporis IL extra basin. Cum centrum gravitatis sit C (§. 215.); id secundum rectam CM descendere nititur (§. 19.). Quare cum nihil secundum eandem directionem ipsi resistat; actu descendet, adeoque corpus labitur in eam partem, versus quam cadit centrum gravitatis (§. 211.). *Quod erat tertium.*

Tab. II. Fig. 24. IV. Denique corpus grave duobus fulcris EF & DC ita incumbat, ut linea directionis IL intra basin FEDC cadat. Quoniam linea directionis ex centro gravitatis I ducitur; centrum gravitatis per rectam IL descendere nititur. Quare cum corpus proprio pondere eo usque incurvari possit, ut a fulcris recedat, *per hypoth.* centrum gravitatis actu descendit, adeoque corpus labitur in eam partem, versus quam linea directionis cadit (§. 211.). *Quod erat quartum.*

COROLLARIUM.

223. Quo major itaque vis requiritur, ut linea directionis extra basin emoveatur, consequenter, quo longius ea distat a perimetro basis; eo firmius corpus in loco suo consistit.

PROBLEMA 41.

224. Invenire, utrum corpus grave in dato situ extra lapsus periculum constituatur, nec ne.

RESOLUTIO.

1. Quæratur centrum gravitatis corporis gravis (§. 186.).
2. Ex eo demittatur perpendicularis in lineam horizontalem apparentem, juxta probl. 40. (§. 219.), si opus sit determinandam: quæ erit linea directionis (§. 215.).

Quodsi perpendiculum intra basin corporis cadit, extra lapsus periculum constituitur; sin minus, certo ruet in eam partem, versus quam perpendiculum cadit (§. 222.).

SCHOLION. 1.

225. *Hinc ratio apparet, cur turres inclinatæ*

clinatæ Bononiensis & Pisana *non corruant, etsi illa anno 1110 excitata ad altitudinem pedum 130 assurgat & perpendiculum a basi intervallo 9 pedum recedat, hæc vero anno 1173 exstructa altitudinem habeat cubitorum 78 & intervallum inter basin atque perpendiculum cubitorum* $7\frac{1}{3}$ *admittat: id quod expressius ostendit* Paulus Casatus (r).

SCHOLION 2.

226. *Idem problema motibus animalium explicandis inservit: qualia inprimis dedit* Joannes Alphonsus Borellus (s). E. gr. *Cum centrum gravitatis in homine inter nates & pubim existat; linea directionis intra spatium calcaneis interjectum adeoque intra basin cadit, quando erecto corpore utroque pede pavimento insistit: quare in hoc situ firmiter consistit. Enimvero si pes alteruter elevetur, basis definietur spatio, quod pes unus occupat* (§. 221.). *Cadit adeo linea directionis extra basin, nempe versus dexteram si pes dexter elevetur, consequenter homo super solo pede sinistro stare non poterit* (§. 222.), *nisi corpus in latere sinistro incurvet, quo linea directionis in pedem sinistrum retrahatur. Enimvero talia fusius prosequi non est nostri instituti: apprime autem observanda sunt in picturis & sculpturis.*

SCHOLION 3.

227. *Immo hinc ratio reddi potest multorum in structura corporis animalium occurrentium.* E. gr. *Cum homo erectus stare ac incedere debeat, necessarium uti que fuit, ut planum per medium transiens corpus divideret ipsum in partes utrinque æquiponderantes. Unde partes geminatæ, quales sunt aures, oculi, brachia cum manibus, crura cum pedibus, a lateribus comparent, quæ sui similes non habent, ut frons, nasus, os, mentum, pectus, venter, genitale membrum, medium tenent locum eamque habent figuram, ut in partes æquales & similes, adeoque in æquiponderantes, dividi possint.*

DEFINITIO 29.

228 *Centrum motus* est punctum, circa quod grave, aut plura gravia commune centrum gravitatis habentia rotari possunt. Tab. II. Fig. 27.

E. gr. Si pondera P & Q rotari possint circa punctum N ita ut descendente P ipsum Q ascendat; dicetur N centrum motus.

THEOREMA 28.

229. *Distantia* IN *centri gravitatis ponderis particularis a centro gravitatis communi aut centro motus* N, *ad lineam directionis* Ip *perpendicularis.*

DEMONSTRATIO.

Cum linea directionis Ip corporis p transeat per centrum gravitatis ipsius (§. 215.) & grave eodem modo gravitet, in quocunque lineæ directionis puncto centrum gravitatis corporis existat (§. 78.); distan- Tab. II. Fig. 27.

(r) Mechanic lib. 1. c. 9. p. 50 & seqq.
(s) De motu animalium c. 18. usque ad 23. p. 165. & seqq. conf. Casatum Mechan. lib. 1. c. 11. p. 62. & seqq.

Digitized by Google

distantia centri gravitatis corporis p a centro motus vel centro gravitatis communi IN eadem est, quæ distantia ipsius N a linea directionis. Sed distantia ipsius N a linea directionis lp est perpendicularis Nl (§. 225. *Geom.*). Ergo eadem perpendicularis Nl est distantia centri gravitatis corporis p a puncto N. *Q. e. d.*

PROBLEMA 41.

Tab. III. Fig. 28. 230. *Dato centro gravitatis* C *una cum pondere corporis* AB, *determinare vires in* A *&* B *requisitas, ut in situ horizontali sustentetur.*

RESOLUTIO.

1. Quæratur ad summam distantiarum virium in A & B applicatarum a centro gravitatis corporis sustentati C, pondus ejusdem G & distantiam vis in B applicatæ BC numerus quartus proportionalis: Dico, hunc esse vim in A applicandam.
2. Quare si is subtrahatur a pondere G, relinquetur vis in B applicanda.

Sit e. gr. G = 300 librarum, AC = 5′, CB = 8′: erit AC + CB = AB = 13′ adeoque vis in A applicanda = G . CB : AB = 300 . 8 : 13 = 184 $\frac{8}{13}$, consequenter vis in B = 115 $\frac{5}{13}$.

DEMONSTRATIO.

Quoniam corpus AB sustentatur a viribus A & B *per hypoth.* necesse est ut eadem vi renitantur, quantum illud deorsum nititur (§. 75.). Nititur autem corpus AB deorsum tota vi gravitatis, hoc est, quanta est ponderis G eidem æqualis & ex centro gravitatis C suspensi (§. 125.). Ergo vires A & B junctim sumtæ ponderi huic æquantur, consequenter eorum centrum gravitatis commune in C (*vi* §. *cit.*). Sed cum linea AB sit horizontalis, *per hypoth.* adeoque linea directionis GC ad eam perpendicularis (§. 215.), vires autem in A & B secundum eandem directionem renitantur; erunt quoque earum lineæ directionis ad AB perpendiculares & hinc a centro gravitatis communi C distant intervallis AC & CB (§. 229.). Est adeo AC + CB : CB = G : A (§. 148.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

231. Corpus adeo AB gravitat in fulcra, a quibus sustentatur, in ratione reciproca distantiarum a centro gravitatis ipsius.

SCHOLION.

232. *Ne mirentur tyrones, nos ad vires resistentes quascunque & grave sursum urgentes ea applicare, quæ de ponderibus deorsum nitentibus demonstrata sunt: eodem enim manente effectu, pondera* H *&* I *facili negotio, si ita visum fuerit, substitui possunt.*

PRO-

Digitized by Google

PROBLEMA 43.

Tab. II. Fig. 18. 233. *Dato centro gravitatis* F *corporis* IH *una cum gravitate ipsius determinare punctum* M, *quod, si plano horizontali incumbat, pondus datum* G *in* L *appensum corpus* IH *ex situ horizontali dimovere nequit.*

RESOLUTIO.

Concipiatur in centro gravitatis F appensum pondus gravitati totius corporis IH æquale (§. 125.) & quæratur ejusdem atque ponderis dati G centrum gravitatis commune M (§. 149.). Quodsi enim punctum M plano horizontali incumbat, pondus G corpus HI e situ suo dimovere nequit (§. 124.). *Q. e. i. & d.*

Sit e. gr. baculi centrum gravitatis F, situla aqua plena librarum 24, pondus baculi 2, $LF = 18''$. Reperietur $LM = LF . F : (G + F) = 18 . 2 : 26 = 18 : 13 = 1''\ 4'''$ fere. Mirum ergo non est (quod Statices ignari mirantur) situlam baculo IH supra mensam posito appensam non decidere.

PROBLEMA 44.

234. *Data corporis* AB *centro gravitatis* C *una cum pondere ejus* G, *determinare puncta* L *&* M, *in quibus supponenda sunt fulcra* MN *&* LO, *ut in data ratione premantur.* Tab. III. Fig. 28.

RESOLUTIO.

Sumantur in linea horizontali AB, quæ per centrum gravitatis C transit, rectæ MC & CL in data ratione. Quodsi fulcra MN & LO in punctis hac ratione determinatis supponas, ea premuntur in data ratione (§. 231.).

COROLLARIUM.

235. Quodsi in M & L fulcrorum loco humeros aus manus supponant operarii; pondus portare poterunt, si viribus eorum proportionatum. Unde patet, quomodo onus ferendum in data ratione distribui possit.

SCHOLION.

236. *Si pondus ferendum ex longurio extra centrum gravitatis ipsius suspendatur; quærendum est centrum gravitatis commune ponderis atque longurii, & supposito in eodem pondere utrique æquali, reliqua peraguntur ut in resolutione problematis. Exempla specialia, quibus problemata hæc illustrantur, dedit* Stevinus (t).

CA-

(t) Stat. lib. 2. prop. 7. 8. Operum f. 474. & seqq.

CAPUT V.

DE

MOTU RECTILINEO COMPOSITO.

DEFINITIO 30.

237. *Motus simplex* est, qui a vi una efficitur.

DEFINITIO 31.

238. *Motus compositus* est, qui efficitur a viribus pluribus conspirantibus. Dicuntur autem *vires conspirare*, si directio unius non est opposita directioni alterius, veluti cum radius circuli circa centrum rotari & interea punctum per eum recta incedere concipitur.

COROLLARIUM.

239. Omnis ergo motus curvilineus est compositus (§. 74.).

DEFINITIO 32.

240. *Angulus directionis* est, quem lineæ directionis duarum virium conspirantium comprehendunt.

THEOREMA 29.

Tab. II. Fig. 19. 241. *Si mobile* A *duplici vi urgeatur, altera quidem secundum directionem* AB, *altera vero secundum directionem* AC, *ita ut celeritates sint ut latera* AB *&* AC; *motu composito diagonalem parallelogrammi* AD *describit.*

DEMONSTRATIO.

Si mobile A sola vi secundum AB impressa moveretur, momento primo foret in aliquo puncto rectæ AB, veluti in H, & ad rectam HL ipsi AC parallelam accederet. Si sola vi secundum AC impressa progrederetur, eodem momento foret in aliquo puncto ipsius rectæ AC, veluti in I, & ad rectam IL ipsi AB parallelam accederet. Sed cum directiones virium sibi non opponantur, neutra alteram impedire valet, adeoque eodem momento mobile accedet tum ad HL, tum ad IL, consequenter erit in puncto L, ubi HL & IL concurrunt. Quoniam vero celeritates sunt ut AB ad BD *per hypoth.* & spatia AH & HL eodem tempore descripta ut celeritates (§. 33.), consequenter AH : HL = AB : BD; erit AHL pars trianguli ABD (§. *268. Geom.*), consequenter AL pars diagonalis AD (§. *337. Geom.*). Eodem modo patet, ductis KM & MG ipsis AB & AC parallelis, quod mobile momento secundo futurum sit in M, tandemque in D. Constat ergo propositum. *Q. e. d.*

CO-

Digitized by Google

COROLLARIUM 1.

242. Quodsi ergo concipiamus rectam AC motu æquabili sibi semper parallelo juxta ductum alterius rectæ AB moveri ac interea punctum motu æquabili in eadem descendere, punctum repræsentabit corpus, quod duplici vi juxta directiones AB & AC celeritatibus, quæ sunt ut AB & AC, movetur, adeoque motu composito describetur triangulum ABD.

SCHOLION.

243. *Solent igitur nonnulli in demonstrando theoremate præsente punctum in linea AC descendens, dum ipsa interea juxta ductum rectæ AB promovetur, pro corpore sumere, quod duplici vi juxta hypothesin theorematis movetur: id quod etiam ad juvandam imaginationem utiliter sumi potest, cum sic pateat possibilitas hypotheseos intuitiva ratione.*

COROLLARIUM 2.

244. Mobile motu composito eodem tempore describit diagonalem AD, quo motu disjuncto describeret latera parallelogrammi AB & AC (§. 241.).

COROLLARIUM 3.

245. Cum circa quamlibet rectam AD parallelogrammum aliquod ABDC construi possit, constructis nempe triangulis æqualibus ACD & ABD tanquam super basi communi (*vi §. 337. 205. Geom.*); omnis motus rectilineus, ubi ad demonstrandum utile fuerit, in compositum resolvi potest.

COROLLARIUM 4.

246. Quoniam vero laterum AC & AB ratio varia esse potest, pro diversitate angulorum CAD & DAB, motu quoque variis modis composito eadem recta AD describi (§. 245.), adeoque & idem motus rectilineus in varios simplices tanquam compositus resolvi potest.

THEOREMA 30.

247. *In motu composito uniformi velocitas a viribus conspirantibus producta est ad velocitatem alterutrius, ut diagonalis* AD *parallelogrammi* ABDC, *juxta cujus latera agunt separatæ, ad latus alterutrum* AB *vel* AC.

DEMONSTRATIO.

Eodem enim tempore, dum vis una conficit latus parallelogrammi AB & altera AC sigillatim, conjunctæ conficiunt diagonalem AD (§. 241.). Est vero diagonalis AD spatium a viribus conspirantibus dato tempore descriptum (§. 12.). Sed in motu uniformi celeritates in eodem tempore sunt ut spatia (§. 33.). Est ergo celeritas a viribus conspirantibus orta ad celeritatem a vi alterutra ortam ut AD ad AB vel AC. *Q. e. d.* Tab. II. Fig. 19.

COROLLARIUM 1.

248. Datis itaque viribus conspirantibus, hoc est, data celeritatum ratione per rectas AB & AC magnitudine datas, & directione per easdem rectas positione datas, aut per angulum directionis, datur motus obliqui celeritas & directio, quia

Digitized by Google

quia diagonalis & magnitudine & positione datur (§. 339. & seqq. Geom.).

COROLLARIUM 2.

249. Non tamen vice versa motu obliquo dato dantur simplices, quia idem ex diversis simplicibus componi potest (§. 245.).

COROLLARIUM 3.

250. Motus adeo simplex per diagonalem AD celeritate ut AD æquipollet motibus per latera AB & AC celeritatibus ut AB & AC conjunctis, hoc est, perinde est, sive mobile juxta directionem AD celeritate ut AD, sive simul juxta directiones AB & AC celeritatibus ut AB & AC moveatur (§. 241. 246.).

THEOREMA 31.

Tab. III. Fig. 30. 251. *In motu composito ab iisdem viribus producto major est velocitas, si angulus directionis minor: illa autem minor, si hic major.*

DEMONSTRATIO.

Sit angulus directionis major BAC, minor FAC. Quoniam vires eædem sunt *per hypoth.* erit AC utrique parallelogrammo AFEC & BACD communis, & præterea AB = AF. Evidens est in hypothesi anguli majoris describi diagonalem AD, in hypothesi minoris vero ipsam AE & quidem eodem tempore ob AB = AF (§. 244.). Sunt igitur celeritates ut AD ad AE (§. 33.). Quare cum AD < AE; velocitas in hypothesi anguli majoris minor est, quam in hypothesi minoris. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

252. Cum datis cruribus AC & CE cum angulo intercepto ACE, angulus CEA (§. 40. Trigon.) & inde porro AE (§. 36. Trig.) reperiatur; data virium conspirantium celeritate & angulo directionis in casu quocunque speciali celeritas motus compositi inveniri, consequenter ratio celeritatum ab iisdem viribus sub diversis directionum angulis productarum definiri potest.

THEOREMA 32.

253. *Si mobile a duabus viribus secundum directiones* AB *&* AC *trahitur, quæ æquipollent tertiæ trahenti secundum directionem* AD, *erunt sollicitationes ad motum inter se reciproce ut sinus angulorum, quos lineæ directionis* BA *&* AC *cum linea directionis tertiæ* AD *comprehendunt, & alterutra earum erit ad sollicitationem a media pendentem ut sinus anguli, quem linea directionis alterius cum linea directionis tertiæ comprehendit ad sinum anguli* ACD. Tab. II. Fig. 29.

DEMONSTRATIO.

Ducatur BD ipsi AC & DC ipsi AB parallela (§. 258. Geom.); erit angulus BDA = DAC & ADC = BAD (§. 233. Geom.), ac BACD parallelogrammum (§. 102. Geom.).

Quo-

Digitized by Google

Quoniam vires ſecundum directiones AB & AC trahentes in ſollicitando mobili ad motum, ſeu quatenus mobile ad motum urgent (§. 110.), æquipollent vi mobile ſecundum directionem AD trahenti *per hypoth.* ſollicitationes laterales ſunt ut AB & BD = AC (§. 335. *Geom.*), media vero ſollicitatio ut AD (§. 250.). Erunt igitur (§. 33. *Trigon.*) laterales ut ſinus angulorum BDA & BAD, & lateralis ſecundum directionem AB trahens ad mediam ſecundum directionem AD trahentem ut ſinus anguli BDA ſeu DAC ad ſinum anguli ABD ſeu ACD (§. 233. *Geom.* & §. 5. *Trigon.*), lateralis vero agentis ſecundum directionem AC ſive BD ut ſinus anguli BAD ad ſinum anguli ACD. *Q. e. d.*

SCHOLION.

254. *Sollicitationes ſunt in ratione compoſita maſſarum & celeritatum initialium* (§. 110. 22.), *conſequenter celeritatum in motu æquabili, ubi* c *eſt ut* dc. *Rectæ, per quas exponuntur motus in reſolutione compoſiti in ſimplices, ſunt ut celeritates* (§. 250.). *Quare ſi per eas exponuntur ſollicitationes, maſſæ corporum, in quibus concipiuntur vires, ſupponendæ ſunt æquales* (§. 181. Arithm.) *id quod ſemper facere licet, cum corpori cuicunque data celeritate lato, vel data celeritate initiali inſtructo, dari poſſit aliud eidem in ſollicitatione ad motum æquivalens, quod habet maſſam datam* (§. 146.), *quia celeritates initiales ſunt ut diſtantiæ a centro motus. Atque hæc ratio eſt, cur in præſente tractatione præciſa maſſa corporum ea conſideramus inſtar punctorum, in quibus non ſpectatur niſi celeritas initialis.*

DEFINITIO 33.

255. Per *Tendentiam* intelligimus rectam velocitatis & directionis repræſentatricem. Et *Tendentia media* vocatur, quæ in motu compoſito pluribus datis ſimul ſubſtitui poteſt.

PROBLEMA 42.

256. *Si mobile* A *urgetur ſecundum directiones* BA, CA, DA, EA *celeritatibus ut* AB, AC, AD, AE, *determinare directionem & celeritatem mobilis in motu compoſito, qui ex ſimplicibus iſtis reſultat, ſeu, datis quotcunque tendentiis* AB, AC, AD, AE, *invenire mediam* AK. Tab. XIII. Fig. 128.

RESOLUTIO.

1. Per centrum gravitatis commune G omnium punctorum B, C, D, E, in quibus terminantur tendentiæ mediæ, ducatur recta AK indefinita ex centro mobilis A.
2. In hanc ex A transferatur AG toties, quot ſunt tendentiæ datæ.

 Dico

Dico AK fore tendentiam mediam.

DEMONSTRATIO.

Ducatur per centrum mobilis A recta RS & ex singulis punctis B, C, D, E atque G demittantur in eam perpendiculares Bb, Cc, Dd, Ee, Gg: tendentiæ BA æquivalebunt laterales Bb & bA, secundæ CA laterales cC & cA, tertiæ DA laterales Dd & dA, quartæ EA laterales Ee & eA (§. 250. 255.). Jam cum directiones Bb, Cc, Dd & Ee sibi mutuo non sint contrariæ, tendentiæ cognomines in determinanda media sunt attendendæ: ex adverso cum directiones bA & cA sint contrariæ directionibus Ad & Ae, sintque velocitates versus partem S majores velocitatibus versus partem R *per hypoth.* excessus tendentiarum versus S supra tendentias versus R attendendus erit in media determinanda. Jam si parallelogrammum A g G H compleatur; tendentiæ perpendiculares Bb, Cc, Dd & Ee æquivalebunt mediæ 4 AH & excessus contrariarum fortiorum supra debiliores Ae + Ad — Ab — Ac æquivalet tendentiæ mediæ parallelæ 4 HG (§. 156.) ob rationem paulo ante datam (§. 254.). Enimvero si AH continuetur in I, donec fiat AI = 4AH & ducatur IK parallela ipsi HG, erit etiam IK = 4 HG & AK = 4 AG (§. 268. *Geom.*). Quare cum tendentiæ laterales AI & KI æquipolleant diagonali AK (§. 250.); tendentiæ quoque BA, CA, DA, & EA tendentiæ AK æquipollent, adeoque ipsa AK media est (§. 255.). *Q. e. d.*

SCHOLION.

257. *Ex demonstratione adeo problematis præsentis patet, si mobile ad motum urgeatur viribus* B, C, D *&* E *eo modo, ut, si* B *sola ageret, mobile* A *progrederetur secundum directionem* AB *celeritate ut* AB; *si sola* C *ipsum impelleret, secundum directionem* AC *celeritate ut* AC; *si sola vis* D *mobile urgeret, secundum directionem* AD *celeritate ut* AD, *si denique sola vis* E *mobile* A *ad motum concitaret, secundum directionem* AE *celeritate ut* AE; *idem mobile* A *viribus* B, C, D, E *una agentibus moveri secundum directionem* AK *celeritate ut* AK. *Patet vero eodem prorsus modo tendentiam mediam determinari, si plures quotcunque dentur. Opus autem est in demonstratione resolutione tendentiarum datarum in alias laterales eidem æquipollentes, ut demonstrari possit,* AK *esse directionem tendentiæ mediæ: quod enim celeritas sit ut* 4 AK *absque ea patet* (§. 156.).

CA-

Digitized by Google

CAPUT VI.

DE DESCENSU GRAVIUM IN PLANO INCLINATO.

DEFINITIO 34.

258. *Planum inclinatum* est, quod cum horizontali efficit angulum obliquum.

DEFINITIO 35.

259. *Gravitatem absolutam* voco, qua corpus descendit libere in medio non resistente, seu in descensu libero ad motum sollicitatur.

DEFINITIO 36.

260. *Gravitatem respectivam* appello, qua corpus descendit, parte aliqua ad superandam resistentiam impensa, seu qua in descensu per resistentiam impedito ad motum sollicitatur. Talis est, qua descendit in plano inclinato, ubi pars aliqua ad resistentiam plani vincendam impenditur, seu qua ad motum sollicitatur super plano inclinato.

THEOREMA 33.

Tab. III. Fig. 31. 261. *Si grave in plano inclinato consistit, gravitas absoluta est ad gravitatem respectivam ut longitudo plani* AC *ad altitudinem* AB.

DEMONSTRATIO.

Sit CB linea horizontalis. Cum globus D secundum directionem AC descendere nitatur in plano inclinato, libere autem descenderet per rectam DH ad horizontalem CB perpendicularem (§. 212.); si erigatur in D perpendicularis ad AC & ducatur GF ipsi AC parallela occurrens ipsi DH in F, exponet DF gravitatem absolutam, DG vero partem, qua resistentiam plani vincit, & FG gravitatem respectivam (§. 250.). Quodsi parallelogrammum DGFE compleatur; erit EF = DG & FG = ED (§. 335. *Geom.*). Est igitur gravitas absoluta ad respectivam ut DF ad FG sive DE. Enimvero cum DH & AB ad eandem CB perpendiculares existant *per hypoth.* inter se parallelæ sunt (§. 256 *Geom.*), adeoque anguli EDF & CAB æquales (§. 233. *Geom.*). Quoniam vero præterea anguli E & B recti sunt, *per hypoth.* erit DF : DE = CA : AB (§. 267. *Geom.*). Quare gravitas absoluta ad respectivam ut

ut CA ad AB (§. *167. Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

262. Cum adeo globus D super plano inclinato gravitate tantum respectiva graviter, pondus L juxta directionem longitudini plani parallelam DA trahens eum retinebit, si fuerit ad ipsum in ratione altitudinis AB ad longitudinem plani AC.

COROLLARIUM 2.

263. Quodsi longitudo plani CA sumatur pro sinu toto, erit AB sinus anguli inclinationis ACB (§. *3. Trigon.*). Est igitur gravitas absoluta ad respectivam ponderis super plano inclinato, adeoque etiam pondus D ad pondus L juxta directionem DA ipsum sustentans, ut sinus totus ad sinum anguli inclinationis.

COROLLARIUM 3.

264. Hinc gravitates respectivæ ejusdem corporis super diversis planis inclinatis sunt inter se ut sinus anguli inclinationis. Est enim ut sinus totus ad sinum anguli inclinationis plani unius, ita gravitas absoluta ad respectivam super eodem (§. 263.) & ut sinus totus ad sinum anguli inclinationis plani alterius, ita eadem gravitas absoluta ad respectivam super hoc plano (§. *cit.*). Quare ut sinus anguli inclinationis planorum, ita sunt gravitates respectivæ ejusdem corporis super iisdem (§. *196. Arithm.*).

COROLLARIUM. 4.

265. Major ergo gravitas respectiva, quo major angulus inclinationis; minor itidem illa est, quo minor hic existit: cum crescentibus angulis crescant, decrescentibus decrescant sinus (§. *58. 301. Geom.* & §. *2. Trigon.*).

COROLLARIUM 5.

266. Sicut itaque in plano verticali, ubi inclinatio maxima, nempe perpendicularis, gravitas respectiva degenerat in absolutam; ita in plano horizontali, ubi nulla inclinatio, gravitas respectiva prorsus exspirat, hoc est, grave secundum longitudinem plani nullum nisum exercet.

COROLLARIUM 6.

267. In plano igitur verticali vis motum impediens ipsi æqualis est: in plano horizontali ad grave retinendum vi nulla opus.

PROBLEMA 41.

268. *Invenire sinum anguli inclinationis plani, super quo data vi pondus datum sustentari possit.* Tab. III. Fig. 31.

RESOLUTIO.

Fiat ut pondus datum D ad vim datam L, ita sinus totus ad sinum anguli inclinationis plani (§. 263.).

E. gr. Sit pondus 1000, vis 50 librarum: reperietur angulus inclinationis $2^{\circ}\ 52'$.

Log. 1000 = 3.0000000
Log. 50 = 1.6989700
Log. Sin. tot. 10.0000000

Log Sin. inclin. = 8.0989700, cui in tabulis quam proxime respondent $2^{\circ}\ 52'$.

THEO-

Digitized by Google

THEOREMA 34.

Tab. III. Fig. 31. 269. *Si pondus* L *juxta directionem perpendicularem* AB *descendit & pondus* D *juxta directionem plano inclinato parallelam attollit; altitudo ascensus ponderis* D *est ad altitudinem descensus alterius* L *ut sinus anguli inclinationis* C *ad sinum totum.*

DEMONSTRATIO.

Ascendat enim pondus D ex C usque in D, erit altitudo, ad quam ascendit, DH. Sed cum pondus L in plano perpendiculari descendat, *per hypoth.* erit altitudo, per quam ipsum descendit, ipsi CD æqualis. Altitudo igitur ascensus ponderis D est ad altitudinem descensus alterius L ut DH ad CD. Enimvero si CD sumatur pro sinu toto, DH est sinus anguli inclinationis C (§. *2. Trig.*). Sunt ergo altitudines prædictæ ut sinus anguli inclinationis & sinus totus. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

270. Est igitur altitudo descensus CD ponderis L ad altitudinem ascensus DH ponderis D ut reciproce pondus D ad pondus L ipsi æquiponderans (§. 262.).

COROLLARIUM 2.

271. Quare cum sit CD . L = DH . D (§. *297. Arithm.*) & nisus atque renisus æquiponderantium D & L æquales sint (§. 75.); momenta ponderum D & L sunt in ratione composita massarum & altitudinum, per quas in plano sive inclinato, sive perpendiculari vel ascendunt, vel descendunt (§. *159 Arithm.*).

THEOREMA 35.

272. *Si pondera* E & D *trahentia rectam* AB *habeant centrum gravitatis commune in* C; *erunt ea inter se in ratione reciproca distantiarum* CH *&* CI. *nempe* E:D = CI:CH. Tab. XIII. Fig. 129. n. 1. 2.

DEMONSTRATIO.

Ducantur BF & AG ad rectam AB perpendiculares & ex centris gravitatis ponderum D & E rectæ EG & DF ipsi AB parallelæ. Quoniam pondera D & E non aliter trahunt rectam AB ac si planis inclinatis BD & AE incumberent; perinde erit ac si in B suspenderetur pondus juxta directionem perpendicularem BF, quod est ad D ut BF ad BD, & in A suspenderetur pondus juxta directionem perpendicularem AG, quod est ad E ut AG ad AE (§. 261.). Sit pondus prius P; alterum Q: erit P : D = BF : BD & Q : E = AG : AE. Enimvero propter parallelismum linearum GE & DF atque AB angulus GEA = HAC & FDB = ABD (§. *233. Geom.*). Quare cum præterea anguli G & H, itemque F & I sint recti *per constr.* erit BF : BD = CI : CB & AG : AE

=CH:CA (§. 267. *Geom.*), consequenter P:D=CI:CB & Q:E =CH:CA (§. 167. *Arithm.*). Jam cum pondera P & Q juxta directionem perpendicularem sint in æquilibrio *per demonstr.* erit P:Q =AC:CB (§. 144.), consequenter P:E=CH:CB (§. 198. *Arithm.*) & hinc tandem D:E=CH:CI (§. 200. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

273. Quoniam pondera D & E sibi invicem æquilibrantur, si sub obliqua quacunque directione rationem reciprocam distantiarum habuerint, hoc est, si D:E =CH:CI (§. 272.), adeoque E.CH= D.CI (§. 297. *Arithm.*); vires æquiponderantium etiam sub directionibus obliquis æstimandæ sunt per factum ex massa in distantiam a centro gravitatis.

COROLLARIUM 2.

Tab. II. Fig. 27. 274. Si pondera sive ex centro gravitatis communi, sive ex alio quocunque extra illud posito suspendantur; momenta sunt in ratione composita massarum & distantiarum a puncto suspensionis N, nempe in eo situ, quo centrum gravitatis ipsius P descendit per altitudinem IK & centrum gravitatis alterius ponderis Q ascendit per altitudinem OH, ut Q.ON & P.IN (§. 146. 271. 133.). Sed cum verticales ad N sint æquales (§. 156. *Geom.*) & lineæ directionum KI & HO sint ad horizontalem LM in O & I perpendiculares (§. 215.); ON:NI=HO:IK (§. 267. *Geom.*). Quare momenta ponderum Q & P sunt etiam ut Q.HO & P.IK, hoc est, in ratione composita massarum & altitudinum, per quas perpendiculariter centrum gravitatis vel ascendit, vel descendit. Superior igitur (§. 146. 273.) constituta virium æstimatio cum præsente consentit.

COROLLARIUM 3.

275. Vires adeo æquales sunt, quæ pondera elevant per altitudines ipsis reciproce proportionales.

SCHOLION. 1.

276. *Hoc principium ad demonstrandas machinarum vires sine demonstratione assumit* Cartesius (u). *Ait enim*, quod iisdem viribus, quibus pondus v. gr. 100 librarum in duorum pedum altitudinem attolli potest, aliud quoque 200 librarum in unius pedis altitudinem possit elevari.

SCHOLION 2.

277. *Hinc etiam ratio patet, cur currus onustus difficilius trahatur super plano inclinato, quam super horizontali: gravatur nimirum ea ponderis parte, quæ est ad pondus totum ipsius in ratione altitudinis ad longitudinem plani. Ex quo etiam intelligitur, cur idem difficilius trahatur in via lutosa & arenosa. Ceterum in praxi ratio longitudinis plani ad altitudinem facile definitur. Si enim recta* FD *sit longitudini plani* AC *parallela, hoc est, linea directionis currus, atque* FC *altitudini* EB *parallela ope perpendiculi definiatur, &* Tab. III. Fig. 32. *ex* C *ducatur perpendicularis ad* DC, *erit*

y=o

(u) In tract. de Mechanica (qui inter posthuma habetur) p. 13.

Digitized by Google

y=o & o=x (§. 233. Geom.) *hincque* y=x (§. 87. Arithm.). *Quare, ob rectos* D & B, FC:FD=EA:EB (§. 267. Geom.).

THEOREMA 36.

278. *Vires mortuæ sunt in ratione composita massarum & velocitatum.*

DEMONSTRATIO.

Vires æquiponderantium cum ad motum producendum tendant, sed non actu moveant pondera, sunt vires mortuæ (§. 9.), adeoque in quacunque directione in ratione composita massarum & distantiarum a centro motus (§. 146. 272.). Enimvero si ponamus centra gravitatis circa centrum motus tanquam punctum fixum moveri æquabiliter, eodem tempore describent arcus distantiis proportionales (§. 138. 412. *Geom.*): qui cum sint celeritatibus proportionales (§. 33.); vires etiam mortuæ erunt in ratione composita massarum & celeritatum (§. 185. *Arithm.* *Q. e. d.*

SCHOLION.

279. *In conatu jam adest celeritas initialis* dc, *elementum ejus, qua moveretur mobile, si motus actu sequeretur. Quare cum celeritas sit ut elementum ejus* dc; *mirum non est, quod vires hic sint in ratione celeritatum prodituraru m & massarum compositæ. Sunt nempe in ratione composita massarum & celeritatum initialium, quibus instruuntur, ac ideo etiam celeritatum futurarum, consequenter distantiarum a centro motus, tanquam illis proportionalium.*

COROLLARIUM.

280. Quodsi ergo massæ æquales sunt, vires mortuæ velocitatum rationem habent.

THEOREMA 37.

281. *Pondera* E & F *super planis inclinatis* AC & CB *ejusdem altitudinis* CD *æquiponderantia sunt ut longitudines planorum* AC & CB. Tab. III. Fig. 33.

DEMONSTRATIO.

Quoniam pondera E & F æquiponderant, *per hypoth.* eadem vis, quæ pondus E super plano inclinato AC sustentare valet, etiam alterum F super plano inclinato CB sustentabit, & hæc dicatur V. Est vero V:E=DC:AC & V:F =DC:CB (§. 262.). Ergo E:F = AC : CB (§. 196. *Arithm.*). *Q. e. d.*

SCHOLION.

282. Simon Stevinus (x) *ingeniosam affert hujus theorematis demonstrationem, quam ob miram facilitatem huc transferre libet. Catena, cujus partes exacte ponderant in ratione longitudinis, imponatur triangulo* GIH, *illud per se patet partes* GK & HK *æquilibrari: æquipollent enim* Tab. III. Fig. 34.

(x) Element. Static. Lib. 1. prop. 19. f. 448. Operum.

GKH *catenæ in punctis* G *&* H *suspensæ. Quodsi jam* IH *non æquiponderet ipsi* GI; *pars præponderans prævalebit*, *& motus perpetuus catenæ circa* GIH *oritur*, *qui cum sit absurdus*, *patet partes catenæ* IH *&* GI, *adeoque pondera quævis alia*, *quæ itidem sunt ut longitudines planorum* IH *&* GI *æquiponderare. Supponit adeo motum perpetuum esse absurdum*, *seu id axiomatis instar sumit.*

COROLLARIUM.

Tab. III. Fig. 33. 283. Quodsi communis planorum altitudo CD sumatur pro sinu toto, CB & CA sunt cosecantes angulorum inclinationis A & B (*§. 11. Trigon.*). Pondera igitur F & E super planis inclinatis CB & CA æquiponderantia sunt ut cosecantes angulorum inclinationis. Sunt item reciproce ut sinus angulorum inclinationis B & A (*§. 33. Trigon.*).

THEOREMA 38.

284. *Grave super plano inclinato descendit motu uniformiter accelerato.*

DEMONSTRATIO.

Gravitas respectiva est ad absolutam in constante ratione (§. 261.), cumque adeo hæc non mutetur (§. 78.), illa quoque omni descensus tempore eadem. Quare cum eodem semper modo vis gravitatis grave ad motum sollicitet (§. 25.); singulis momentis æqualibus æquales addet celeritates. Grave igitur motu uniformiter accelerato descendit (§. 67.) *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

285. Sunt igitur spatia descensus in ratione duplicata temporum (§. 80.), itemque velocitatum (§. 81.).

COROLLARIUM 2.

286. Eadem etiam temporibus æqualibus crescunt secundum numeros impares (§. 84.).

COROLLARIUM 3.

287. Tempora vero sunt in ratione subduplicata spatiorum (§. 82.), itemque velocitates in eadem existunt (§. 83.).

COROLLARIUM 4.

288. Spatium quoque a gravi in plano inclinato descendente decursum est subduplum ejus, quod eodem tempore cum velocitate, quam grave in fine ejusdem habet, motu uniformi conficitur (§. 92.).

COROLLARIUM 5.

289. Descensus adeo gravium super planis inclinatis iisdem legibus adstringitur, quibus descensus eorundem in perpendiculari tenetur (§. 86. 87.).

SCHOLION.

290. *Hinc* Galilæus *leges illas exploraturus experimenta sumsit in planis inclinatis* (*§. 89.*): *tardior enim*, *ut in theoremate sequente demonstratur*, *est descensus in plano inclinato*, *& hinc spatia facilius notari possunt.*

THEOREMA 39.

291. *Celeritas gravis in plano inclinato decidentis in fine temporis dati est ad celeritatem*, *quam perpendiculariter descendens eodem tempore acquireret*,

quireret, ut altitudo plani inclinati ad longitudinem ejus.

DEMONSTRATIO.

Celeritatis elementa, dum grave per planum inclinatum descendit, producuntur a gravitate respectiva, dum vero perpendiculariter descendit, ab absoluta. Si celeritates sint ut C & *c*, tempusculum *dt*, massa mobilis *m*, gravitas absoluta & respectiva ut G & *g*, erit $G:g = \frac{mdC}{dt} : \frac{mdc}{dt}$ (§. 112.), $= dC : dc$ (§. 181. *Arithm.*) $= C : c$ (§. 187. *Arithm.*). Sed G ad *g* ut longitudo plani ad altitudinem ipsius (§. 261.). Ergo in fine cujusvis temporis *t* celeritates C & *c* sunt ut longitudo plani ad altitudinem ejus (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

292. Celeritas gravis perpendiculariter cadentis ad celeritatem in plano inclinato descendentis est in fine ejusdem temporis (incipiendo nimirum a quiete) ut sinus totus ad sinum anguli inclinationis (§. 33. *Trigon.*).

THEOREMA 40.

Tab. III. Fig. 35. 293. *Spatium a gravi in plano inclinato confectum* AD *est ad spatium* AB, *quod eodem tempore in perpendiculari percurreret, ut velocitas in plano inclinato ad velocitatem in descensu perpendiculari in fine temporis dati.*

DEMONSTRATIO.

Si grave ab initio motus eam celeritatem habuisset, quam in D constitutum habet, duplum ipsius AD spatium confecisset (§. 288.). Similiter, si ab initio motus eam celeritatem habuisset, quam in B habet, duplum ipsius AB confecisset (§. 92.), utrobique nempe motu æquabili. Sunt igitur spatia dupla 2 AD & 2 AB, eodem nempe tempore percursa *per hypoth.* ut celeritates (§. 33.). Ergo & AD atque AB sunt ut eædem celeritates (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

294. Est igitur spatium in plano inclinato percursum ad spatium, per quod grave eodem tempore in perpendiculari descenderet, ut plani altitudo AB ad longitudinem ejus AC (§. 291.), itemque ut sinus anguli inclinationis C ad sinum totum (§. 292.).

COROLLARIUM 2.

295. Si ex angulo recto B ad AC perpendicularis demittatur; erit $AC : AB = AB : AD$ (§. 330. *Geom.*). Quare eodem tempore, quo grave ex A perpendiculariter descendit in B super plano inclinato perveniet in D (§. 294.).

COROLLARIUM 3.

296. Dato igitur spatio descensus perpendicularis in altitudine plani AB habetur

Digitized by Google

betur spatium eodem tempore in plano inclinato percurrendum AD, si ex B ad CA perpendicularis demittatur.

COROLLARIUM 4.

297. Similiter dato spatio in plano inclinato percurso AD, invenitur spatium AB, per quod eodem tempore grave perpendiculariter decidisset, si ex D perpendicularis erigatur, quæ cum catheto plani AB concurrens punctum B determinabit.

COROLLARIUM 5.

Tab. III. Fig. 36. 298. Cum in semicirculo anguli D, E, F, C recti sint (§. 317. *Geom.*); grave per omnia plana AD, AE, AF, AC eodem tempore descendit, quo nempe per diametrum AB, si ea fuerit ad lineam horizontalem LM perpendicularis (§. 297.).

PROBLEMA 44.

Tab. III Fig. 35. 299. *Dato spatio* AD *in plano inclinato* AC *percurso, determinare spatium, quod in alio plano inclinato eodem tempore percurreret.*

RESOLUTIO.

1. Ex puncto D erigatur perpendicularis DB occurrens altitudini AB in B: erit AB spatium, per quod eodem tempore caderet perpendiculariter grave (§. 296.).

2. Quare si ex B demittatur perpendicularis BE ad planum AF; erit AE spatium, quod in plano inclinato AF conficit grave eodem tempore, quo cadit perpendiculariter ex A in B (§. 295.), consequenter & in inclinato AC ex A in D pervenit. *Q. e. i. & d.*

COROLLARIUM.

300. Cum sit AB ad AD ut sinus totus ad sinum anguli inclinationis C & AB ad AE ut sinus totus ad sinum anguli inclinationis F (§. 294.); spatia AD & AE, quæ grave eodem tempore in diversis planis inclinatis percurrere valet, sunt ut sinus angulorum inclinationis C & F (§. 196. *Arithm.*) & reciproce ut gravia super iisdem planis æquiponderantia (§. 283), consequenter etiam reciproce ut longitudines planorum AF & AC æque altorum (§. 281.). Et hinc problema per calculum variis modis solvitur.

THEOREMA 41.

301. *Velocitates, quæ in diversis planis inclinatis eodem tempore acquiruntur, sunt ut spatia eodem tempore percursa.*

DEMONSTRATIO.

Ducantur ex puncto B altitudinis AB ad plana AC & AF perpendiculares BD & BE; erunt AD, AB & AE spatia eodem tempore percursa (§. 299.) Cum adeo sit, ut AB ad AC ita velocitas per AD acquisita ad velocitatem per AB acquisitam, & ut AB ad AF ita velocitas per AE acquisita ad velocitatem per AB acquisitam (§. 291.), consequenter ob AB : AC Tab. III. Fig. 35.
=AD

Digitized by Google

= AD : AB & AB : AF = AE : AB (§. *330. Geom.* & §. *169. Arithm.*), velocitas per AD acquisita ad velocitatem per AB acquisitam ut AD ad AB & velocitas per AE acquisita ad velocitatem per AB acquisitam ut AE ad AB (§. *167. Arithm.*); velocitates eodem tempore per AD & AE acquisitæ sunt ut spatia AD & AE isto tempore percursa (§. *195. Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

302. Velocitates in diversis planis inclinatis eodem tempore acquisitæ sunt ut sinus angulorum inclinationis C & F, reciproce ut pondera super istis planis æquiponderantia, nec non reciproce ut eorundem planorum æquealtorum longitudines AC & AI (§. 300).

THEOREMA 42.

Tab. 303. *Si grave per planum inclina-*
III. *tum* AC *ad lineam horizontalem* CB
Fig. *pervenit, eandem celeritatem acqui-*
35. *sivit, quam in descensu perpendiculari* AB *usque ad eandem lineam horizontalem* CB *acquireret.*

DEMONSTRATIO.

Demittatur ex B perpendicularis DB; erit AD spatium eodem tempore percursum, quo percurritur AB (§. 296.), adeoque celeritas per AB acquisita ad celeritatem per AD acquisitam ut AC : AB (§. 291.). Celeritas vero per AC acquisita est ad celeritatem per AD acquisitam in ratione subduplicata ipsius AC ad AD (§. 285.) $= \sqrt{AC} : \sqrt{AD}$ (§. *159. Arithm.*). Quare cum sit AC : AB = AB : AD (§. *330. Geom.*), adeoque AC ad AD in ratione duplicata AC : AB (§. *216. Arithm.*) $= AC^2 : AB^2$ (§. *259. Arithm.*), consequenter $\sqrt{AC} : \sqrt{AD} = AC : AB$; erit celeritas per AC acquisita ad celeritatem per AD acquisitam ut AC ad AB (§. *167. Arithm.*). Celeritas igitur per AC acquisita est celeritati per AB acquisitæ æqualis (§. *177. Arith.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

304. Grave igitur per diversa plana inclinata AC, AG, AF, cadendo eandem celeritatem acquirit, ubi ad eandem lineam horizontalem CF pervenit.

COROLLARIUM 2.

305. Si grave cadit perpendiculariter Tab.
ex L in I eandem celeritatem acquirit, III.
quæ per planum inclinatum HI acquiri Fig.
tur (§. 304.). Quare si per planum IK 37.
motum continuat, ubi ad I pervenit, eodem modo movebitur, ac si statim ab initio in plano inclinato HK motum fuisset.

COROLLARIUM 3.

306. Cum tamen motus per planum inclinatum IK tardior sit quam per perpendiculum IM (§. 291.); grave per LI & IK descendens tardius lineam horizontalem KM attingit, quam si constanter per

per LM perpendiculariter descendisset (§. 90. *Arithm.*).

COROLLARIUM. 4.

Tab. III. Fig. 38. 307. Quodsi grave descendit per planum inclinatum LM, in M eam velocitatem habet, quam acquireret cadendo per PM (§. 304.). Quodsi ergo ubi ad M pervenit, motum suum continuet per MN, nec flexus in M motui officiat, nisi quod directionem mutet; eam in N velocitatem habet, quam acquireret cadendo per PN, vel etiam QN (§. *cit.*). Quamobrem si ex N per NO feratur, perveniens ad lineam horizontalem OR ea velocitate præditum est, quam acquireret per OQ, seu QR (§. *cit.*). Grave igitur per plura plana inclinata contigua LM, MN, NO motum continuans, eam acquiret celeritatem, ac si perpendiculariter per QR descendisset.

COROLLARIUM 5.

308. Cum itaque curvæ ex rectis infinite parvis componantur; grave per curvam QS descendens eandem adipiscitur celeritatem, quam ex casu perpendiculari QR acquireret.

THEOREMA 43.

Tab. III. Fig. 38. 309. *Tempus descensus per planum inclinatum* AC *est ad tempus descensus perpendicularis per* AB *ut longitudo plani* AC *ad altitudinem* AB: *tempora vero descensuum per diversa plana inclinata æquealta* AC *&* AG *sunt ut longitudines planorum.*

DEMONSTRATIO.

Tempus per AC æquale est tempori, quo motu uniformi percurritur AC dimidia celeritate in C acquisita, & tempus per AB æquale est tempori, quo motu uniformi percurritur eadem AB celeritate dimidia in B acquisita (§. 288.). Sed celeritates istæ dimidiæ æquales sunt (§. 303.). Tempora igitur sunt ut AC & AB (§. 32.). *Quod erat unum.*

Eodem modo ostenditur, tempora descensuum per AC & AG esse ut AC & AG: *Quod erat alterum.*

THEOREMA 44.

310. *Si diameter circuli* AB *fuerit ad lineam horizontalem* LM *perpendicularis, grave ex quovis peripheriæ puncto* D, E *vel* C *eodem tempore descendit in* B, *quo nempe diametrum* AB *percurrit.* Tab. III. Fig. 36.

DEMONSTRATIO.

Demittatur ex C perpendicularis GC: erit tempus, quo GB percurritur, ad tempus, quo BC percurritur, ut BG ad BC (§. 309.). Tempus vero, quo GB percurritur, est ad tempus, quo AB percurritur, in ratione subduplicata BG ad AB (§. 87.), hoc est, cum sit GB : BC = BC : AB (§. 330. *Geom.*) in ratione GB ad AB (§. 216. *Arithm.*). Tempus adeo descensus per GB ad tempus descensus per BC

BC & diametrum AB eandem rationem habet (§. *167. Arithm.*). Ergo tempus, quo percurritur BC, æquale est tempori, quo AB percurritur (§. *177. Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 45.

Tab. III. Fig. 39. 311. *Descensus per semicycloidem* DEF *& per quemcunque ejus arcum* DG *sunt æquidiuturni.*

DEMONSTRATIO.

Concipiatur arcus DG in partes infinitesimas resolutus, quarum una sit M*m*, & semicycloidis DEF in numero totidem divisa, quarum una E*e*: erit DG : DF = M*m* : E*e* (§. *171. Arithm.*). Concipiamus porro semicycloidem DF in E & arcum DG in M ita dividi, ut sit DF : DG = DE : DM = E*e*: M*m* (§. *167. Arithm.*). Ducantur denique semiordinatæ TE, *te*, NM, *nm*, itemque chordæ in circulo genitore DB, DL, DO. Quoniam DF = 2AD, DE = 2DB, DM = 2DO & DG = 2DL (§. *168. Analys. infin.*), & DF:DE = DG:DM *per hypoth.* erit DA : DB = DL : DO (§. *181. Arithm.*) & hinc $DA^2 : DB^2 = DL^2 : DO^2$ (§. *260. Arithm.*). Quoniam vero DA : DB = DB : DT (§ *330. Geom.*); erit $DA^2 : DB^2 = DA : DT$ (§. *216. 259. Arithm.*). Similiter quia DA : DL = DL : DH & DA : DO = DO : DN; erit $DA^2 : DL^2 = DA : DH$ & $DA^2 : DO^2 = DA : DN$ (§§. *cit. Arithm.*), consequenter $DL^2 : DO^2 = DH : DN$ (§. *196. Arithm.*). Quamobrem ulterius DA:DT = DH:DN (§. *167. Arithm.*) & AT : DT = HN:DN (§. *193. Arithm.*), adeoque AT:HN = DT : DN (§. *173. Arithm.*) & $\sqrt{AT} : \sqrt{HN} = \sqrt{DT} : \sqrt{DN}$ (§. *260. Arithm.*). Sed ut $\sqrt{AT}$ ad $\sqrt{HN}$ ita velocitas in E ad velocitatem in M (§. 308. 87.), ita etiam DB ad DO (§. 310. 301.), immo DE ad DM (§. *168. Analys. infinit.* & §. *181. Arithm.*). Ergo velocitas in E ad velocitatem in M ut E*e* ad M*m* *per demonstr.* consequenter cum tempus per E*e* sit ut spatium E*e* per velocitatem in E divisum & tempus per M*m* ut spatium M*m* per velocitatem in M divisum (§. 38.); tempus per E*e* æquale est tempori per M*m* (§. *185. 149. Arithm.*) & hinc tempus per omnia E*e*, hoc est per DF, æquale est tempori per omnia M*m* hoc est per DG (§. *88. Arithm.*). *Q. e. d.*

PROBLEMA 46.

312. *Si plana* DC *&* FH *cum horizontalibus* CK *&* HI *æquales efficiunt angulos; similiter inclinata sunt.* Tab. III. Fig. 40.

DEMONSTRATIO.

Cum plana inclinata dicantur, quando cum horizontalibus angulum efficiunt obliquum (§. 258.); non

Digitized by

non alio modo quam per angulos, quos cum horizontalibus suis efficiunt, distingui potest eorum inclinatio (§. *476. Geom.*). Jam anguli æquales sunt similes (§. *174. Geom.*), adeoque per eos planorum inclinatio distingui nequit (§. *24. Arithm.*). Ergo plana, quæ cum suis horizontalibus angulos efficiunt æquales, similiter inclinata sunt (§. *cit.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

313. Cum in planis inclinatis similiter DC & FH anguli C & H sint æquales (§. 312.) & demissis in horizontales CK & HI perpendicularibus DK & FI anguli K & I recti (§. *78. Geom.*); erit CD : FH = DK : FI (§. *267. Geom.*), hoc est, altitudines longitudinibus proportionales sunt.

THEOREMA 47.

Tab. III. Fig. 40. 314. *Si duo gravia per duo aut plura plana* AB, BC *&* EG, GH *similiter inclinata & proportionalia incedant, ut nempe sit* AB : BC = EG : GH, *tempora descensus erunt in subduplicata ratione longitudinum* AB + BC *&* EG + GH.

DEMONSTRATIO.

Sit AB : BC = $a : b$; erit ob AB : BC = EG : GH *per hypoth.* EG = ma & GH = mb. Cum plana AB & EG sint similiter inclinata, *per hypoth.* non aliter quam partes ejusdem plani percurruntur, adeoque tempus per AB est ad tempus per EG ut $\sqrt{a}$ ad $\sqrt{ma}$ (§. 287.). Eodem modo ostenditur, esse tempus per BC ad tempus per GH ut $\sqrt{b}$ ad $\sqrt{mb}$, & ita porro, si plura fuerint plana. Quare tempus per AB + BC est ad tempus per EG + GH ut $\sqrt{a} + \sqrt{b}$ ad $\sqrt{ma} + \sqrt{mb}$ (§. *192. Arithm.*) hoc est, ut $1 : \sqrt{m}$ (§. *181. Arithm.*), seu ut $\sqrt{(a+b)}$ ad $\sqrt{(ma+mb)}$ (§. *178. Arithm.*): quæ ratio subduplicata planorum AB + BC & EG + GH. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

315. Quoniam AB : EG = AP : EQ & CB : GH = BN : GO (§. 313), sunt proportiones inter se similes ob AB : EG = CB : GH *per hypoth.* erit AB + BC : EG + GH = AP + BN : EQ + GO (§. *192. Arithm.*) = [ob AP + BN = DM + MK = DK & EQ + GO = FL + LI = FI (§. *216 Geom.*),] DK : FI (§. *168. Arith.*). Tempus igitur per plana similiter inclinata & proportionalia AB, BC & EG, GH cum sit in ratione subduplicata AB + BC & EG + GH (§ 314.); in ratione quoque subduplicata altitudinum DK & FI existit.

COROLLARIUM 2.

316. Et quia superficies curvæ AB & DE similes ac similiter positæ ex innumeris planis infinite parvis proportionalibus & similiter inclinatis constant; tempus per AB erit ad tempus per DE in ratione subduplicata AB ad DE. Tab. III. Fig. 41.

CA-

CAPUT VII.

DE ASCENSU GRAVIUM, CUM PERPENDICULARI, TUM IN PLANO INCLINATO.

THEOREMA 48.

317. *Si grave in medio non resistente vi impressa sive perpendiculariter, sive per planum inclinatum ascendit, motus ejus uniformiter retardatur.*

DEMONSTRATIO.

Dum grave vi impressa perpendiculariter ascendit, a vi gravitatis absolutæ secundum eandem perpendicularem (§. 215.); dum vero per planum inclinatum ascendit, a vi gravitatis respectivæ secundum directionem plani (§. 261.) continuo deorsum impellitur. Motus adeo ejus continuo retardatur (§. 77.). Quoniam vero vis gravitatis tam absolutæ, quam respectivæ in omnibus locis, per quæ grave descendit, eadem (§. 78. & §. 261.); æqualibus temporibus æquales celeritatis gradus eliduntur (§. 25.), consequenter motus uniformiter retardatur (§. 70.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

318. Grave igitur sive perpendiculariter, sive per declive in medio non resistente ascendens spatium percurrit subduplum ejus, quod eodem tempore in plano horizontali motu uniformi describeret cum ea celeritate, quam ab initio motus habebat (§. 97).

COROLLARIUM 2.

319. Ejusdem igitur spatia æqualibus temporibus confecta ordine retrogrado decrescunt ut numeri impares 7. 5. 3. 1. (§. 98.), adeoque ascensus tandem sistitur, consequenter ubi vis impressa fuerit absumta, corpus vi gravitatis rursus descendit.

COROLLARIUM 3.

320. Sunt adeo inverse ut spatia iisdem temporibus ab alio gravi per eandem altitudinem cadente confecta. Sit enim e. gr. tempus in quatuor partes divisum; momento primo grave A descendet per spatium 1, B ascendet per 7; secundo A descendet per 3, B ascendet per 5; tertio A descendet per 5, B ascendet per 3; ultimo A descendet per 7, B ascendet per 1 (§. 86. 319.).

COROLLARIUM 4.

321. Unde grave vi impressa ascendens ad eam altitudinem ascendit, ex qua decidere deberet, ut eam cadendo celeritatem acquireret, qua sursum impellitur.

Digitized by Google

COROLLARIUM 5.

322. Quamobrem cadendo acquirit vim ascendendi ad eam altitudiuem, unde deciderat, in medio nimirum non resistente.

PROBLEMA 45.

323. *Dato tempore, quo grave impetu impresso ad altitudinem datam ascendit, determinare spatia singulis momentis confecta.*

RESOLUTIO.

Ponatur idem grave eodem tempore per eandem altitudinem descendisse & quærantur spatia singulis momentis percursa (§ 94.): hæc enim inverso ordine sumta eadem sunt cum spatiis ascensus quæsitis (§. 320.).

E. gr. Corpus perpendiculariter projectum intra 4 secunda ascendit per intervallum 240 pedum. Quæruntur spatia singulis temporibus confecta? Quodsi corpus descendisset, primo minuto descendisset per 15 pedes, secundo per 45, tertio per 75, quarto per 105. Primo itaque ascendit per 105, secundo per 75, tertio per 45, ultimo per 15 pedes.

PROBLEMA 46.

324. *Dato tempore, quo grave vi impressa ad datam altitudinem ascendit, determinare tempus, quo ad altitudiam aliam datam pervenit.*

RESOLUTIO.

Quæratur tempus, quo grave per altitudinem desideratam decidere potest (§. 95.): eodem enim ad eandem ascendet (§. 320. 322.).

Vide supra exemplum probl. 2 (§. 95.).

THEOREMA 49.

325. *Vires corporum vivæ sunt in ratione composita ex simplici massarum & duplicata celeritatum.*

DEMONSTRATIO.

Corpus E cadendo per AB acquirit vim ascendendi per AB, & F cadendo per CD vim adipiscitur, qua per altitudinem CD elevari potest (§. 322.). Sunt adeo vires, quibus corpora E & F per altitudines AB & CD elevantur, in ratione composita altitudinum AB & CD atque massarum E & F, quia vires in elevandis corporibus per eas altitudines totæ consumuntur. Sed AB & CD sunt in ratione duplicata velocitatum cadendo per istas altitudines acquisitarum (§. 86.). Ergo vires E & F sunt in ratione composita ex simplici massarum & duplicata celeritatum. Sunt vero vires E & F vivæ, utpote non solo nisu, sed impetu concepto agentes, adeoque cum mota actuali conjunctæ (§. 9.). Constat igitur vires vivas esse in ratione composita ex simplici massarum & duplicata celeritatum. *Q. e. d.*

Tab. III. Fig. 42.

CO-

Digitized by Google

COROLLARIUM.

326. Quare si massæ fuerint æquales; vires sunt in ratione duplicata celeritatum (§. 181. *Arithm.*).

SCHOLION I.

327. *Errant qui promiscue vires omnes in ratione composita massarum & velocitatum esse statuunt, propterea quod mortuæ in eadem deprehenduntur* (§. 278.). *Errorem communem detexit & emendavit* (y) *Vir illustris* Leibnitius. *Aliam theorematis* Leibnitiani *demonstrationem invenit & per literas mecum pro humanitate sua communicavit celeberrimus* Bernoullius, *quam ipsis viri ingeniosissimi verbis huc transcribo.* „Concipe, *inquit*, „corpus C moveri oblique in elastrum L „velocitate CL ut 2, angulo inclinatio„nis CLP existente 30 gr cujus nempe „sinus CP est semissis radii CL. Suppo„no autem eam esse resistentiam in ela„stro, ut ad illud tendendum requiratur „præcise unus velocitatis gradus in illo „corpore, si perpendiculariter impinge„ret. Quid ergo jam fiet post incursio„nem obliquam corporis C in elastrum L? „Quoniam motus per CL componitur, „ut notum est, ex duobus collateralibus „per CP & PL (*vide* §. 241.), & cum „CP, secundum quam corpus directe im„pingit in elastrum L, exprimat dimi„diam celeritatem corporis per CL, con„sumetur hic motus per CP, tenso ela„stro (perinde enim esset ac si corpus C „celeritate CP perpendiculariter incurre„ret in elastrum, quod per hypothesin „eam celeritatem destruere potest) rema„nente corporis celeritate & directione „PL. Producta igitur PL in M, ita ut „LM sit $= PL = \sqrt{3}$ (ponitur enim CL „$= 2$) & applicato in M alio simili ela„stro faciente cum LM angulum LMQ, „cujus sinus $LQ = CP = 1$, per eandem „rationem manifestum est, corpus C post „tensionem elastri L tensurum esse ela„strum M amisso motu per LQ & servato „motu per QM. Prolongata itaque QM „ad N, ut fiat $MN = QM = \sqrt{2}$, ibi„que substituto elastro simili tertio, con„stituente cum MN angulum MNR se„mirectum, quo scilicet MR iterum fit „$= CP = 1$; patet similiter motum per „MR totum impendi in tensionem elastri „N, corpore interim moveri pergente „directione & celeritate $RN = 1$. De„nique si hac celeritate residua impingat „perpendiculariter in elastrum O, huic „flectendo totam suam vim reliquam da„bit; ipsum itaque corpus ad quietem „redigetur. Hisce ita præmissis, patet „nunc potentiam corporis C tantam fuis„se, ut per se solum tendere possit præ„cise quatuor elastra talia, ad quæ sin„gula seorsim tendenda requiritur dimi„dia velocitas corporis æqualis ipsi C, „adeoque cum effectus illius quadruplo „major sit, quam effectus hujus, evidens „est quoque vim corporis velocitate 2 gr. „quadruplam esse vis corporis ejusdem „vel æqualis velocitate 1 gr. Haud ab„simili modo demonstrarem corpus C ve„locitate 3 gr. tendere posse 9 elastra, ad „quorum unum tendendum unus veloci-

Tab. IV. Fig. 43.

(y) Act. Erudit. A. 1686. p. 161. & seqq.

„tatis gradus in eo corpore requiritur, „& tandem in genere numerum elastrorum tensorum semper esse quadratum „numeri graduum velocitatis. Unde igitur sequetur, vires corporum æqualium „esse in duplicata ratione celeritatum. *Q. e. d.*

SCHOLION 2.

328 *Prodiit nuper Parisiis Tractatus Mathematici hujus eminentis* (z), *in quo hanc virium mensuram a nonnullis Mathematicis exteris impugnatam multo apparatu stabilivit. Præterea Viri celeberrimi* Gravesandius (a) Hermannus *&* Bülffingerus (b) *eandem mensuram aliis modis demonstrarunt, &* Polenus (c) *experimentis confirmavit. Ego in Principiis Dynamicis* (d) *analysi vere dynamica eandem virium mensuram erui. Qui vires vivas a mortuis non distinguunt, vires promiscue æstimant per celeritatem in massam ductam.*

THEOREMA 50.

Tab. III. Fig. 39. 329. *Si grave vel perpendiculariter per* AD, *vel per quamcunque superficiem* FED *descendat & impetu concepto per aliam* DC *rursus ascendat, in punctis æquealtis veluti in* G, H *&* Q, *eandem vim eandemque celeritatem habebit.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam grave vi cadendo per AD vel FD acquisita ad C usque ex D per DGC ascendit (§. 322.); ubi ad G pervenit, ea ipsi superest vis, qua ad C usque ascendere valet. Sed eandem vim adipiscitur cadendo ex C per CG, itemque ex A ad H, nec non ex F in Q (§. *cit.*). In punctis adeo æque altis G, H & Q eandem vim habet. *Quod erat unum.*

Sunt autem vires cadendo acquisitæ in punctis G, H & Q ut quadrata celeritatum (§. 326.). Quare cum vires æquales sint, *per demonstr.* celeritatum quoque quadrata, consequenter ipsæ celeritates æquales sunt. *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM.

330. Quodsi adeo grave per superficiem quamcunque FED descendat & per aliam similem ac æqualem similiterque positam DGC rursus ascendat; idem omnino est, ac si eadem linea eadem velocitate singulis sui partibus bis percurreretur (§. 329.). Unde tempora descensus & ascensus per æqualia spatia æqualia sunt (§. 25.).

CA-

(z) Discours sur les Loix de la communication du mouvement, a Paris 1727.
(a) In Element. Phys. Tom. I. p. 112. edit. poster.
(b) In Comment. Acad. Scient. Petropolitanæ p. 1. 45.
(c) In Tractatu de Castellis p. 56. & seqq.
(d) In Comment. Acad. Scient. Petropolit. p. 231.

Digitized by Google

CAPUT VIII.
DE
DESCENSU ET ASCENSU CORPORUM IN LINEIS CURVIS.

DEFINITIO 37.

331. Curva *isochrona* dicitur, in qua grave sine acceleratione descendit, hoc est æqualibus temporibus æqualiter ad horizontem accedit.

COROLLARIUM.

332. In curva isochrona tempora descensus ut altitudines ejusdem.

SCHOLION.

333. *Problema de curva isochrona invenienda proposuit* Leibnitius (e) *&* *suppressa analysi demonstrationem syntheticam dedit* (f). *Dedit autem solutionem ope calculi differentialis tunc temporis nascentis* Jacobus Bernoulli (g): *dedere post eum alii alias.*

PROBLEMA 47.

Tab. XIII. Fig. 30. 334. *Invenire curvam isochronam.*

RESOLUTIO.

Sit linea horizontalis BC, altitudo, per quam grave ad eandem descendit AC, curva isochrona GMB. Sit $AP = x$, $PM = y$; erit ducta pm ipsi PM infinite propinqua $Pp = dx$, $mR = dy$ & $Mm = \surd(dx^2 + dy^2)$ (§. 417. *Geom.*). Quoniam in curva isochrona tempora descensus sunt ut altitudines, per quas descenditur (§. 332.); erit tempus per Mm ut Pp, adeoque $= dx$. Et quia celeritas in M acquisita eadem est cum celeritate in P acquisita (§. 308), adeoque in ratione subduplicata altitudinis AP (§. 87.); erit celeritas, qua arculus infinite parvus Mm percurritur, $= \surd x$. Jam cum per arculum Mm grave motu æquabili feratur, erit ipse tanquam spatium a mobili percursum (§. 12.) $= dx\surd x$ (§. 34.). Est itaque in curva isochrona

$$dx\surd x = \surd(dx^2 + dy^2)$$

$$x dx^2 = dx^2 + dy^2$$

$$x dx^2 - dx^2 = dy^2$$

h. e. $$dx^2(x - 1) = dy^2$$

$$dx\surd(x - 1) = dy$$

Fiat $$x - 1 = v$$

erit $$dx = dv$$

$$dx\surd(x - 1) = dv\surd v = v^{1:2}dx$$

adeo-

(e) Nouvelles de la Republ. des lettres Septemb. 1687.
(f) In Actis Erudit. A. 1689. p. 196. & seqq.
(g) In Actis Erudit. A. 1690. p. 217. & seqq.

Digitized by Google

adeoque $v^{1:2}dv = dy$

$\frac{2}{3}v^{3:2} = y$

$\frac{4}{9}v^3 = y^2$ five $v^3 = \frac{9}{4}y^2$

Apparet adeo, curvam isochronam esse e numero paraboloidum quadratico - cubicalium (§. *519. Analyſ. fin.*), cujus abſciſſa $= v$, ſemi ordinata PM $= y$, parameter $\frac{9}{4}$. Quoniam altitudo, per quam cadit grave, eſt x, ſed $v = x - 1$; curva BMG lineam verticalem AC non ſecat in A, ſed in G, conſequenter mobile cadere debet per altitudinem AG, antequam in curva GMB deſcendere poſſit. Et quia AG $= 1$, parameter vero $= \frac{9}{4}$; ſi ſit parameter $= p$, erit $p = \frac{9}{4}$ AG, adeoque $\frac{4}{9}p =$ AG, hoc eſt, altitudo AG, per quam deſcendere debet grave, antequam per curvam ita deſcendere poteſt, ut altitudines deſcenſus ſint tempori proportionales, quatuor nonis parametri curvæ æqualis. Mobile adeo non ex quiete deſcenſum inchoat, ſed ea celeritate, quam acquirit cadendo per altitudinem quatuor nonis parametri æqualem.

SCHOLION.

335. *Supponimus directiones gravis cadentis, quas vi gravitatis habet, inter ſe parallelas: quemadmodum & in præcedentibus factum. Idem vero problema in hypotheſi directionum convergentium ſolvit* Varignonius (h). *Lubet igitur ſolutionem in hypotheſi ſubjungere.*

PROBLEMA 48.

336. *Invenire lineam iſochronam in hypotheſi directionum in centro telluris convergentium.* Tab. XIV. a. Fig. 131.

RESOLUTIO.

Sit diſtantia AC puncti horizontalis A, unde grave cadit, a centro telluris C $= b$, AP $= x$ ut ante, AN arcus radio AC deſcriptus $= y$, quia ad AC perinde ac in problemate præcedente ſemiordinatæ ad eandem altitudinem perpendicularis (§. *38. Analyſ. infin.*). Sit porro radius Cn ipſi CN infinite propinquus & radiis CP atque Cp particula infinite parva Pp differentibus deſcribantur arcus concentrici PM & pm; erit MR $=$ Pp $= dx$, Nn $= dy$ & ob ſimilitudinem ſectorum CnN & CmR (§. *138. 412 Geom.*).

CN : Nn = Cm : mR

$b : dy = b - x$:

adeoque $m\text{R} = (b-x)\,dy : b$.

Porro ob angulum ad R rectum (§. *38. Analyſ. infin*).

$\text{MR}^2 + m\text{R}^2 = \text{M}m^2$ (§. *417. Geom.*)

adeoque $\text{M}m^2 = dx^2 + (b-x)^2 dy^2 : b^2$

$= (b^2 dx^2 + (b-x)^2 dy^2) : b^2$

Enim-

(h) In Comment. Acad. Reg. Scient. A. 1699. p. 1. & ſeqq.

Enimvero vi analyſeos præcedentis (§. 334.).

$$Mm^2 = xdx^2$$

Ergo $xdx^2 = (b^2dx^2 + (b-x)^2dy^2) : b^2$

$$b^2xdx^2 - b^2dx^2 = (b-x)^2dy^2$$

$$bdx\sqrt{(x-1)} = (b-x)dx$$

$$\frac{bdx\sqrt{(x-1)}}{b-x} = dy$$

$$\int \frac{bdx\sqrt{(x-1)}}{b-x} - y$$

Cum y ſit arcus AN & eo dato determinetur punctum M ducto ex centro C radio CN & intervallo CP ob AP $= x$ noto ſeu $= b - x$ arcu PM; non alia re opus eſt, quam ut arcus AN ex aſſumta AP ſive x determinetur: id quod fit ope curvæ BQD. Si enim elementum ejus PpQq ponatur $= bdx\sqrt{(x-1)} : (b-x)$; cum ſit P$p = dx$, erit ſemiordinata PQ $= b\sqrt{(x-1)} : (b-x)$. Quare ſi area BPQ dividatur per AB $= 1$; prodibit recta arcui AN æqualis. Conſtruatur itaque parallelogrammum rectangulum ABLK æquale areæ BPQ, cujus altitudo conſtans AB $= 1$; erit BL $=$ AK $=$ AN arcui, qui adeo circuli quadratura præſuppoſita determinari poteſt. Apparet itaque curvæ iſochronæ in præſenti caſu conſtructionem pendere a quadratura curvæ BQD & quadratura circuli.

Ut curvæ BQD natura inveſtigetur, fiat.

$$PQ = b\sqrt{(x-1)} : (b-x) = 0$$

erit $x - 1 = 0$

$$x = 1$$

Patet adeo ſemiordinata PQ evaneſcente, x degenerare in AB $= 1$, ſive in B, ubi PQ $= 0$, eſſe AB adhuc $= 1$.

Fiat por. PQ $= b\sqrt{(x-1)} : (b-x) = \infty$

erit $b - x = 0$

$$b = x$$

Ergo ubi BP $= x$ degenerat in BC $= b$, ſemiordinata CR fit infinita, & hinc CR ad BC in centro C normalis eſt aſymptotus curvæ BQD.

Ut curvæ BQD conſtructio detegatur, fiat BP $= v$, erit ob AP $= x$ & AB $= 1$

$$x = v + 1$$

$$x - 1 = v$$

$$PQ = \frac{b\sqrt{(x-1)}}{b-x} = \frac{b\sqrt{v}}{b-v-1}$$

Quoniam $\sqrt{v}$ eſt ſemiordinata parabolæ, cujus vertex in B, abſciſſa BP, parameter AB $= 1$ (§. *392. Anal. fin.*); conſtruatur circa axem BC parabola AHS, erit PH $= \sqrt{v}$.

Ducatur porro recta CV per punctum H ex centro C rectæ AT ad AC normali in V occurrens. Quoniam PH & AV inter se parallelæ (§. *256. Geom.*), erit (§. *268. Geom.*).

$$CP : PH = CA : AV$$
$$b - v - 1 : Vv = b : \frac{bVv}{b - v - 1}$$

Est igitur AV = PQ, adeoque punctum curvæ Q, a qua constructio isochronæ pendet, habetur si parallelogrammum PAVQ compleatur.

Hinc vero porro eruitur æquatio curvæ BQD ad axem AT relatæ. Nimirum si sit VQ = AP = y & AV = PQ = x, AB = a; erit

$$x = \frac{bV(ay - a^2)}{b - y}$$
$$x^2 = \frac{ab^2y - a^2b^2}{(b-y)^2}$$
$$x^2(b-y)^2 = ab^2y - a^2b^2$$

seu ob $(b-y)^2 = b^2 - 2by + y^2$

$$b^2x^2 - 2bx^2y + x^2y^2 = ab^2y - a^2b^2$$
$$x^2y^2 - 2bx^2y + b^2x^2 - ab^2y + a^2b^2 = 0$$

Si fiat $x = 0$

erit $a^2b^2 - ab^2y = 0$
$$a - y = 0$$
$$a = y$$

Est igitur semiordinata AB in origine abscissarum A = a, quod convenit cum superioribus, & curva BQD algebraica (§. *377. Anal. fin.*), tertii quidem generis (§. *382. Anal. finit.*).

Ut vero nunc etiam æquatio ad curvam isochronam in hypothesi directionum convergentium eruatur, fiat præter AB = 1, BP = v, arculus mR radio Cp = CR descriptus = dz, cum sit Pp = dv, erit M$m^2 = dz^2 + dv^2$ (§. *417. Geom.*). Est vero M$m^2 = xdx^2$ vi superioris analyseos. Quare cum sit

$$x = v + 1$$
erit $dx = dv$
$$dx^2 = dv^2$$
$$xdx^2 = (v+1)dv^2$$
$$= vdv^2 + dv^2$$

Habemus itaque

$$dz^2 + dv^2 = vdv^2 + dv^2$$
$$dz^2 = vdv^2$$
$$dz = v^{1:2}dv$$
$$z = \tfrac{2}{3}v^{3:2}$$
$$\tfrac{9}{4}z^2 = v^3$$

hoc est: $\tfrac{9}{4}$ AB.PM^2 = BP^3

Quoniam PM est arcus circuli radio CP descriptus, curva isochrona BMC in hypothesi directionum

num

num convergentium transcendens est (§. 380. *Analys.*).

Ut curvæ hujus indoles porro detegatur, ponatur in æquatione differentiali ad eandem $dz = dv\sqrt{v}$ seu $dz = \sqrt{v}$

$$\frac{dz}{dv} = \sqrt{v}$$

$$v = 0$$

$$\text{erit } \frac{dz}{dv} = 0$$

$$dv = \infty$$

Est vero in B $v = 0$ & $dv = \infty$. Axis igitur CB curvam BMC in B tangit, adeoque ea axi convexitatem ibidem obvertit.

Quodsi fiat CP$=0$, arculus quoque radio CP descriptus $mR = dz = 0$: punctum ergo M coincidit cum C, adeoque curva BMC cum axe in C concurrit, qui in B eam tangit. Necesse igitur est ut ibidem sit ad axem concava, consequentet punctum flexus contrarii habet.

Jam in puncto flexus contrarii M est $Mm^2 = CP \,.\, dPp$ (§. 300. *Anal. infin.*). Fiat igitur CB$=c$. Cum sit BP$=v$, erit CP$=c-v$, adeoque P$p = -dv$. Jam

$$dz = v^{1:2}dv$$

$$\text{adeoque } v^{-1:2}dz = dv$$

$$-v^{-1:2}dz = -dv$$

$$\tfrac{1}{2}v^{-3:2}dzdv = -ddv = dPp,$$ ob constantem dz,

$$\tfrac{1}{2}(c-v)v^{-3:2}dzdv = CP \,.\, dPp$$

Porro $Mm^2 = dz^2 + dv^2$
$= vdv^2 + dv^2$

Habemus itaque

$$vdv^2 + dv^2 = \tfrac{1}{2}(c-v)v^{-3:2}dzdv$$
$$= \tfrac{1}{2}(c-v)v^{-1}dv^2$$

$$v + 1 = (c-v):2v$$

$$v^2 + v = \tfrac{1}{2}c - \tfrac{1}{2}v$$

$$v^2 + \tfrac{3}{2}v = \tfrac{1}{2}c$$

$$v^2 + \tfrac{3}{2}v + \tfrac{9}{16} = \tfrac{1}{2}c + \tfrac{9}{16}$$

$$v + \tfrac{3}{4} = \sqrt{(\tfrac{1}{2}c + \tfrac{9}{16})}$$

$$v = \sqrt{(\tfrac{1}{2}c + \tfrac{9}{16})} - \tfrac{3}{4}$$
$$= \sqrt{(\tfrac{1}{2}c + \tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{16})} - \tfrac{3}{4}$$
$$= \sqrt{(\tfrac{1}{2}AC \,.\, AB + \tfrac{1}{16}AB^2)} - \tfrac{3}{4}AB$$

ob $c + 1 = AC$

Sit Cl ultimum elementum curvæ, erit $bl = dz$ & bC$= dv$, & ob rectum ad b (§. 38. *Anal. infin.*) bl ad bC ut sinus anguli bCl ad sinum anguli blC (§. 33. *Trigon.*), adeoque $dz : dv =$ sin. bCl : sin. blC. Si Cl sit ultimum curvæ elementum, punctum l infinite parvo intervallo ab axe AC distat, seu cum eo coincidit, atque adeo punctum l est in axe AC & angulus bCl idem cum ACG, intra qnem curva BMC comprehenditur. Quare

 dv:

$dv : dz =$ ſin. ACG : coſin. ACG. Eſt vero $dz = dv\sqrt{v}$, adeoque $dz : dv = \sqrt{v} : 1 = \sqrt{BC} : \sqrt{AB}$. Eſt igitur ſinus anguli ACG, intra quem curva continetur, ad ejus coſinum in ratione ſubduplicata rectarum CB & BA (§. 167. *Arithm.*). Et per hoc theorema angulus ACG, conſequenter arcus AG determinatur, qui curvæ iſochronæ toti conſtruendæ ſufficit.

Denique in æquatione $dz = dv\sqrt{v}$ ſubſtituatur valor ipſius $v = x - 1$, erit $dz = dx\sqrt{(x-1)}$.

Fiat $dz = 0$

erit $dx\sqrt{(x-1)} = 0$

$$x - 1 = 0$$

$$x = 1$$

$$= AB$$

Quare cum x denotet altitudinem, per quam grave cadit, ſeu motus acceleratricem, & dz in puncto B ſit $= 0$, ubi axis BC curvam tangit, *per demonſtrata*; grave non ex quiete motum in curva BMC incipere debet, ſed ea celeritate, quam acquirit cadendo per altitudinem AB.

Tab. XIV. Fig. 32. Angulus, intra quem continetur curva iſochrona in hypotheſi directionum convergentium, determinatur, ſi ſuper AC, hoc eſt, recta inter locum A, unde deſcenſus incipit, & centrum telluris C interjecta, deſcribatur ſemicirculus, & in B, ubi curva axem tengit, erigatur perpendicularis BD, factaque BE = BA ducatur ex C rectæ ED parallela CF perpendiculari BD ultra ſemicirculum continuatæ in F occurrens: eſt enim ACF angulus quæſitus, conſequenter arcus AG ex centro C radio CA deſcriptus curvæ conſtruendæ ſufficit. Etenim AB : BD = BD : BC (§. 327. *Geom.*). Quare AB ad BD in ratione ſubduplicata AB : BC (§. 216. 159 *Arithm.*), ſeu AB : BD = $\sqrt{AB} : \sqrt{BC}$, conſequenter $\sqrt{BC} : \sqrt{AB}$ = BD : AB (§. 169. *Arithm.*). Quoniam FC parallela ipſi DE *per conſtruct.* erit DB : BE = FB : BC (§. 268. *Geom.*), adeoque $\sqrt{BC} : \sqrt{AB}$ = BF : BC (§. 167. *Arithm.*). Eſt vero etiam BF : BC = ſin. BCF : ſin. CFB (§ 33. *Trig.*) = ſin. ACG : coſin. ACG. Ergo ſin. ACG : coſ. ACG = $\sqrt{BC} : \sqrt{AB}$ (§. 167. *Arithm.*). Eſt igitur ACG angulus quæſitus.

Quodſi ſuper AH = $\frac{1}{4}$ AC ſemicirculus AIH deſcribatur & in B perpendicularis excitetur, ductisque AI & IH fiat IK = AL = $\frac{1}{4}$ AB & LO = KA, erit O punctum axis, cui punctum flexus contrarii reſpondet. Eſt enim AB : AI = AI : AH ſive

sive $\frac{1}{2}$AC (§. 330 *Geom.*), adeoque AI $= \sqrt{\frac{1}{2} AC . AB}$ (§. 377. *Geom.*). Quare cum angulus AIK sit rectus (§. 317. *Geom.*), erit $AK = \sqrt{(\frac{1}{2} AC . AC + \frac{1}{16} AB^2)}$. Et quia $LB = \frac{3}{4} AB$ & LO = AK *per construct.* erit $BO = \sqrt{(\frac{1}{2} AC . AB + \frac{1}{16} AB^2)} - \frac{3}{4} AB$. Quare in O est punctum axis, quod puncto flexus contrarii respondet.

SCHOLION. 1.

337. *Atque ita calculo analytico eruimus præcipuas curvæ isochronæ proprietates in hypothesi directionum convergentium, quæ præsenti instituto inserviunt. Constat enim, quomodo sit construenda supposita quadratura curvæ cujusdam per parabolam construendæ & quadratura circuli. Constat præterea, quænam sint puncta, quibus ductus curvæ determinatur, nempe quod in* B *axem tangat, eique convexitatem obvertat, punctum* O *respondeat flexui contrario, ita ut curva portioni axis* OC *concavitatem obvertat, in* C *denique eadem cum axe concurrat, tota autem intra angulum* ACG *contineatur. Quoniam tamen curva ista & rectificabilis, & quadrabilis est, quadraturam & longitudinem in corollariis determinare libet.*

COROLLARIUM 1.

Tab. 338. Quoniam $Mm = dx \sqrt{x}$ (§. 336.)
XIV. $= x^{1:2} dx$, erit arcus curvæ $BM = \frac{2}{3} x^{3:2} = \frac{2}{3}$
a. $x \sqrt{x}$. Sed $x = v + 1$ (§. *cit.*). Ergo
Fig. $BM = (\frac{2}{3} + \frac{2}{3} v) \sqrt{(v+1)} - \frac{2}{3} = \frac{2}{3} x \sqrt{x}$
131. $- \frac{2}{3} = \frac{2}{3} AP . \sqrt{\frac{AP}{AB}} - \frac{2}{3} AB$. Quare si

super AP describatur semicirculus & erecta in B perpendiculari BC & in D (est autem $AD = \frac{2}{3} AP$) perpendiculari DE ducatur recta AE occurrens ipsi DE in E, tandemque ex EA resecetur $EG = \frac{2}{3} AB$, erit AG longitudo arcus. Est enim AP : AC = AC : AB (§. 330. *Geom.*), adeoque $AC = \sqrt{AP}$ ob AB = 1. Porro cum ED ipsi BC parallela (§. 256. *Geom.*); AB : AC = AD : AE (§. 268. *Geom.*). Ergo $AE = \frac{AD . AC}{AB} = \frac{\frac{2}{3} AP . \sqrt{AP}}{AB}$. Quare cum $GE = \frac{2}{3} AB$ *per constr.* erit utique recta AG arcui curvæ æqualis. Tab. XIII. Fig. 133.

COROLLARIUM 2.

339. Quoniam elementum areæ est sector infinite parvus $CmR = mR . \frac{1}{2} CR = v^{1:2} dv (\frac{1}{2} c - \frac{1}{2} v)$ (§. 336.) $= \frac{1}{2} c v^{1:2} dv - \frac{1}{2} v^{3:2} dv$; erit area $BMC = \frac{1}{3} c v^{3:2} - \frac{1}{5} v^{5:2} = (\frac{1}{3} cv - \frac{1}{5} v^2) \sqrt{v} = (5cv - 3v^2) \sqrt{v} : 15 = \frac{(5 CB . BP - 3 BP^2) \sqrt{BP}}{15 AB}$ ob AB = 1. Tab. XIII. Fig. 131.

Quodsi fiat $v = c$, erit area integra $= (5c^2 - 3c^2) \sqrt{c} : 15 = \frac{2}{15} c^2 \sqrt{c} = \frac{2}{15} BC^2 . \sqrt{BC : AB}$, denuo ob AB = 1.

SCHOLION 2.

340. *Quoniam* v = BP *& area curvæ incipit in puncto* B, *non opus est, ut de quantitate adjicienda solliciti simus. Sed cum in corollario primo origo ipsius* x *in* A, *curvæ autem in* B; *ideo pro* x *substitui debebat* v, *ut constaret de quantitate adjicienda.*

COROLLARIUM 3.

341. Si CM ad PM perpendicularis

 (§. 38.

(*§. 38. Anal. infinit.*) fiat infinite magna, erit ea axi AC parallela & PM arcus, itidemque alter AN degenerat in rectam arcui æqualem, propterea quod cum AC nullibi concurrit (*§. 82. 256. Geom.*). Quare cum x five AP intuitu infinitæ b five $AC = 0$; erit $b - x = b$, adeoque æquatio $y = \int \frac{bdx \sqrt{(x-1)}}{b-x}$ (§. 336.) degenerat in sequentem $y = \int bdx \sqrt{(x-1)} : b = \int dx \sqrt{(x-1)}$; qui est casus *Leibnitianus* (§ 334.).

SCHOLION 3.

342. *Cum centrum terræ ingenti admodum intervallo distet, & altitudines, in quibus gravium descensus nobis usui esse potest, respectu illius distantiæ sint admodum exiguæ; casus directionum parallelarum praxi satisfacit, cui etiam ob faciliorem curvæ descriptionem sese commendat* (§. 334 Mech. & §. 581. Analys.). *In illo igitur acquiescere poteramus, nisi nobis quoque propositum esset speciminibus illustribus docere, quomodo principiis mathematicis in his Elementis a nobis explicatis in solvendis problematis arduis sit utendum & quo ordine ratiocinia sint concatenanda, ut non perturbato animi statu ad portum optatum perveniatur. Quamobrem nec piget de solutione generali problematis in duplici hypothesi hactenus considerati nonnulla addere. Nimirum solvimus problema de curva isochrona in hypothesi accelerationis* Galilæana, *propterea quod experimentis in iis altitudinibus, in quibus ea capere licet, satisfacit, ita ut in locum hypotheseos naturæ quoad nos surrogari possit* (*§. 85. & seqq.*). *Enimvero cum aliæ quoque hypotheses non sint impossibiles atque Geometræ sit problema in omni hypothesi solvere, quamdiu ignoratur, quænam illarum sit hypothesis naturæ; ut ostendamus restat, quid fieri conveniat data quacunque accelerationis lege. Generalem adeo solutionem hic inprimis admittimus in usum artis inveniendi, ut appareat progressus a solutionibus particularibus ad generales.*

PROBLEMA 49.

343. *Invenire curvam isochronam in quacunque accelerationis hypothesi.*

RESOLUTIO.

Quodsi acceleratio alia statuatur, quam quæ in hypothesi *Galilæana* obtinet, directionibus parallelis manentibus, curvæ isochronæ BMC accedat curva celeritatum ANE juxta altitudinem acceleratricem AG tanquam communem axem descripta, cujus semiordinatæ PN, GE exprimunt celeritates per abscissas iisdem respondentes AP, AG acquisitas. Tab. XIV. a. Fig. 134.

Sit itaque $AP = x$, $PM = y$, $PN = v$, reperietur, eodem prorsus quo supra (§. 334.) modo $Mm = vdx$, ut adeo habeamus

$$dx^2 + dy^2 = v^2 dx^2$$

$$dy^2 = v^2 dx^2 - dx^2$$

$$dy = dx \sqrt{(v^2 - 1)}$$

Quod-

Digitized by Google

Quodsi jam sit $v=\sqrt{x}$, quemadmodum in hypothesi *Galilæana*; prodibit $dy=dx\sqrt{(x-1)}$, prorsus ut supra (§. *cit.*). Solutio itaque particularis convertitur in universalem, aut potius specialis in generalem, si pro $\sqrt{x}$ ponas v; id quod regulis Logicis, quas stabilivimus, ad amussim congruit (§ *710. Log.*).

Tab. XIV. a. Fig. 135. Quodsi magis arriserit ope loci sollicitationum centralium, seu scalæ gravitatis IQO problema solvere; pari facilitate idem præstatur. Accedat enim porro ad curvam isochronam BMC & curvam celeritatum ANE scala sollicitationum centralium IQO & sit communis abscissa AP in altitudine acceleratrice $AG=x$, $PM=y$, $PN=v$, $PQ=g$; erit $v^2=2\int gdx$ (§. 113.). Quare si pro v^2 hunc valorem substituas, prodibit $dy=dx\sqrt{(2\int gdx-1)}$. Quodsi jam supponas, quemadmodum id obtinet in hypothesi *Galilæana* (§. 112.), gravitatem constantem, quæ adeo sit ut 1; erit $dy=dx\sqrt{(2\int dx-1)}=dx\sqrt{(2x-1)}$, vel, cum hic sola ratio attendatur, minime autem magnitudo absoluta, $dy=dx\sqrt{(x-1)}$, ut supra (§. 334.).

SCHOLION.

344. *In curva isochrona temporis descensus sunt ut altitudines, per quas descenditur* (§. 332.). *Inveniri autem possunt etiam curvæ aliæ, in quibus tempus ad altitudinem relationem quamcunque constantem vel quomodocunque assignabilem habet. Quamobrem in gratiam artis inveniendi solutionem problematis generalem apponimus, sub quo curva isochrona tanquam casus particularis continetur.*

PROBLEMA 50.

345. *Invenire curvam, in qua grave descendit ea lege, ut tempus habeat ad altitudinem, per quam descendit, relationem datam, seu ut tempora descensus habeant inter se relationem ex datis altitudinibus dato modo assignabilem, supposita quacunque accelerationis lege & directionibus sive parallelis, sive convergentibus.*

RESOLUTIO.

Non differt resolutio problematis præsentis a resolutione præcedentis, nisi quod circa axem communem describatur, præter curvam descensus BMC, curvam celeritatis ANE, etiam curva temporis ASH. Nimirum grave in curva BMC ea lege descendit, ut in M sit celeritas ut semiordinata PN, tempus vero ut PS. Tab. XIV. a. Fig. 136.

Sit $AP=x$, $PN=v$, $PS=t$, $PM=y$; erit $Mm=\sqrt{(dx^2+dy^2)}$ itemque ob suppositum per Mm motum æquabilem vdt, ut supra (§. 334.).

Habemus itaque $vdt = \sqrt{(dx^2 + dy^2)}$

$$v^2 dt^2 = dx^2 + dy^2$$

$$v^2 dt^2 - dx^2 = dy^2$$

$$dy = \sqrt{(v^2 dt^2 - dx^2)}$$

$$y = \int\sqrt{(v^2 dt^2 - dx^2)}$$

Quodsi ergo in dato casu speciali v exprimatur per x & dt per dx, prodit æquatio curvæ descensus respondens.

Sit e. gr. $v = \sqrt{x}$ & $t = x$, quemadmodum in curva isochrona, supposita accelerationis lege *Galilæana*; erit $dt = dx$, adeoque $y = \int\sqrt{(xdx^2 - dx^2)} = \int dx\sqrt{(x-1)}$, ut supra (§. 334).

Quodsi quis in casu directionum convergentium problema resolvere velit, non novo calculo opus est, sed in æquatione prima paulo ante (§. 336.) inventa pro xdx^2 substitui debet v^2dt^2: quo facto habemus.

$$v^2 dt^2 = \frac{b^2 dx^2 + (b-x)^2 dy^2}{b^2}$$

$$v^2 b^2 dt^2 = b^2 dx^2 + (b-x)^2 dy^2$$

$$\frac{v^2 b^2 dt^2 - b^2 dx^2}{(b-x)^2} = dy^2$$

$$dy = \frac{b\sqrt{(v^2 dt^2 - dx^2)}}{b-x}$$

Quodsi etiam hic in dato casu speciali v & t per x determinentur, æquatio curvæ descensus prodit.

E. gr. Sit ut ante $v = \sqrt{x}$, $t = x$, quemadmodum pro curva isochrona supposuimus; erit $dy = \frac{b\sqrt{(xdx^2 - dx^2)}}{b-x} = \frac{bdx\sqrt{(x-1)}}{b-x}$, ut supra (§. 336).

SCHOLION.

346. *Ubi adeo problema in casu particulari solutum, veluti in casu* Leibnitii *non difficilis est solutio universalis, quamcunque universalitatem eidem donare volueris: id quod etiam in aliis problematis similiter obtinet. Enimvero ubi solutio generalis ad casum specialem applicanda, plus difficultatis oritur, quatenus nempe formulæ, quæ per substitutionem prodeunt, vel summandæ, vel ad quadraturas aut rectificationes simpliciorum curvarum reducendæ. Atque ea ratio est, cur Geometræ eminentes artem inveniendi sive analysin promoturi parum solliciti fuerint de solutionibus generalibus, modo particulares dare possent, in quibus ars eminebat, novis artificiis analyticis introductis.*

DEFINITIO 38.

347. *Curva isochrona paracentrica* dicitur; per quam descendens grave æqualiter æqualibus temporibus a dato puncto recedit, vel ad illud accedit. Dicitur etiam *curva accessus & recessus æquabilis.* Tab. XIV. Fig. 137. b.

Sit BCM curva quæsita, D punctum fixum in axe datum, DM esse debet ut tempus descensus a D in M.

SCHO-

Digitized by Google

SCHOLION.

348. *Problema de curva isochrona paracentrica invenienda primum propositum est a* Leibnitio (i); *sed cum solutu difficilius sit priore, dudum intactum reliquerunt Geometræ, donec tandem solutionem daret* Jacobus Bernoulli (k) *& simul solutiones* Leibnitii *Fratrisque* Joannis (l) *eliceret. Generalius deinde idem problema solvit* Varignonius (m). *Lubet hic dare solutionem præcedenti, quantum licet, affinem.*

PROBLEMA 51.

Tab. XIV. b. Fig. 137. 349. *Invenire curvam isochronam paracentricam.*

RESOLUTIO.

Sit A punctum, unde descensum inchoat grave; D punctum, a quo vel recedit, vel ad quod accedit, prout casus tulerit. Radio AD describatur semicirculus ANF, ductisque ad punctum curvæ M rectis DM & Dm infinite propinquis, agantur ad axem normales NQ & PM, itemque nq, quæ erit ipsi NQ infinite propinqua. Ducatur NT tangens circulum in N (§. 38. *Anal. infin.*) & nO normalis ad NQ, tandemque radio DM arculus MR ex centro D.

Sit jam DN = DA = DF = a, DQ = z, DM = t, erit mR = dt, Qq = nO = dz & QN = $\sqrt{(a^2 - z^2)}$ (§. 417. *Geom.*). Quæratur jam ut in problemate anteriore de curva isochrona (§. 334. & 336.) arcus Mm duplici modo, nempe 1. ex principiis pure geometricis, 2. ex principiis mechanicis, seu conditione problematis.

I. Quoniam TN circulum tangit in N *per construct.* angulus TND rectus est (§. 38. *Anal. infin.*), adeoque △ DNQ ∽ △ QNT seu angulus DNQ = QTN (§. 329. *Geom.*). Sed ob parallelismum rectarum nO & QT (§. 256. *Geom.*) angulus OnN = QTN (§. 233. *Geom.*). Ergo OnN = DNQ (§. 87. *Arithm.*). Quare cum DQN & nON sint recti *per construct.* erit (§. 267. *Geom.*).

$$NQ : DN = nO : Nn$$
$$\sqrt{(a^2 - z^2)} : a = dz :$$
$$Nn = adz : \sqrt{(a^2 - z^2)}$$

Porro ob sectores DnN & DRM similes (§. 138. 412. *Geom.*).

$$DN : Nn = DM : MR$$
$$a : \frac{adz}{\sqrt{(a^2 - z^2)}} = t :$$

MR

(i) In Actis Erudit. A. 1689. p. 198.
(k) In Actis Erudit. A. 1694. p. 277.
(l) Ibid. p. 371. 394.
(m) In Comment. Academ. Reg. Scient. A. 1699. p. 9. & seqq.

Digitized by Google

$$MR = tdz : \surd(a^2 - z^2)$$
Hinc $MR^2 = t^2dz^2 : (a^2 - z^2)$
Sed $mR^2 = dt^2$

Ergo $Mm^2 = \frac{t^2dz^2}{a^2 - z^2} + dt^2$

$$= \frac{t^2dz^2 + a^2dt^2 - z^2dt^2}{a^2 - z^2}$$

II. Quoniam motus per arculum infinite parvum *Mm* æquabilis supponitur, erit spatium *Mm* in ratione composita temporis & celeritatis in M acquisitæ (§. 34.). Sed tempus est ut *m*R sive *dt* (§. 347.) & celeritas in M acquisita in hypothesi *Galilæana* seu gravitatis constantis ut $\surd$AP (§. 87.). Ergo $Mm = dt \,.\, \surd AP$. Est vero ob parallelas QN & PM (§. *268. Geom.*).

$$DN : DQ = DM : DP$$
$$a : z = t :$$
$$DP = tz : a$$

Ergo $AP = AD + DP$
$$= a + tz : a$$
$$= \frac{a^2 + tz}{a}$$

Unde $Mm = dt \,.\, \surd AP$ *per demonstr.*
$$= dt\,\surd(a^2 + tz) : \surd a$$

$$Mm^2 = \frac{a^2dt^2 + tzdt^2}{1 \,.\, a}$$

hoc est, sumta a pro unitate,

$$Mm^2 = \frac{a^2dt^2 + tzdt^2}{a^2}$$

Habemus itaque

$$\frac{a^2dt^2 + tzdt^2}{a^2} = \frac{a^2dt^2 - z^2dt^2 + t^2dz^2}{a^2 - z^2}$$

$$a^4dt^2 + a^2tzdt^2 - a^2z^2dt^2 - tz^3dt^2 = a^4dt^2 - a^2z^2dt^2 + a^2t^2dz^2$$

$$a^2zdt^2 - z^3dt^2 = a^2tdz^2$$

$$dt\,\surd(a^2z - z^3) = adz\,\surd t \qquad \surd a$$

$$dt\,\surd(a^3z - az^3) = adz\,\surd at$$

$$\frac{dt}{\surd at} = \frac{adz}{\surd(a^3z - az^3)}$$

h. e. $a^{-1:2}t^{-1:2}dt = adz : \surd(a^3z - az^3)$

$$2a^{-1:2}t^{1:2} = a\int(dz : \surd(a^3z - az^3)) \qquad a$$

$$2a^{1:2}t^{1:2} = a^2\int(dz : \surd(a^3z - az^3))$$
$$2\surd at =$$

Atque hæc est æquatio, quam dedit *Leibnitius* pro curva isochrona paracentrica (n). Omnis itaque rei cardo huc redit, ut $a^2\int(dz : \surd(a^3z - az^3))$ determinetur, quod membrum æquationis absolute summari nequit. Dari autem potest constructio sive per quadraturam, sive per rectificationem alicujus curvæ. Dabimus primo constructionem per quadraturam.

Quo-

(n) In Actis loc. cit. p. 371. & 372.

Digitized by Google

Quoniam igitur $a^3dz : \surd(a^2z - az^3)$ est elementum curvæ, erit semiordinata $v = a^3 : \surd(a^2z - az^3)$ (§. 98. *Anal. infinit.*).

Ut curvæ hujus indoles detegatur, ponatur

$$v = \infty$$

$$\text{erit } \surd(a^2z - az^3) = 0$$

$$a^2z - az^3 = 0$$

$$a^2 - z^2 = 0$$

$$a = z$$

Tab. XIV. Fig. 138. Quando itaque z fit a, hoc est, DQ degenerat in DC, semiordinata CR fit infinita. Est adeo CR asymptotus curvæ.

$$\text{Fiat } z = 0$$

$$\text{erit } v = \frac{a^3}{0}$$

Quare ubi z fit o, seu evanescit, semiordinata DS est asymptotus curvæ.

$$\text{Quoniam } v = a^3(a^2z - az^3)^{-1:2}$$

erit

$$dv = -\tfrac{1}{2}a^3(a^2z - az^3)^{-3:2}(a^2dz - 3az^2dz)$$

Si jam fiat $dv = 0$,

erit

$$-\tfrac{1}{2}a^3(a^2z - az^3)^{-3:2}(a^2dz - 3az^2dz) = 0$$

$$a^2dz = 3az^2dz$$

$$a^2 = 3z^2$$

$$\surd\tfrac{1}{3}a^2 = z$$

Quando itaque DQ $= \surd\tfrac{1}{3}a^2$, applicata QN fit minima (§. 63. *Analys. infin.*).

$$\text{Quoniam } v = \frac{a^3}{\surd(a^2z - az^3)} = \frac{a^3}{\surd(a^2 - z^2)\surd az}$$

$$\text{erit } \surd az : a = a : \frac{a^2}{\surd az}$$

$$\surd(a^2 - z^2) : \frac{a^2}{\surd az} = a : v$$

Est vero $\surd az$ semiordinata parabolæ QG, cujus parameter $= a$ & abscissa DQ (§. 392. *Analys.*) & $\surd(a^2 - z^2)$ semiordinata circuli = QF radio DA $= a$ descripti (§. 377. *Analys.*). Curva igitur quadranda ita construitur. Circa communem axem AC describatur semicirculus AFC radio AD $= a$ & parabola DGB, cujus vertex in D centro semicirculi, parametro a radio semicirculi æquali. Fiat deinde DI=GQ & DO=DA, itemque DL = QF, ductisque OK ipsi AI & KT ipsi LO parallelis; erit DT = QN. Est enim

$$DI : DA = DO : DK$$

$$\surd az : a = a : \frac{a^2}{\surd az}$$

$$DL : DO = DK : DT$$

$$\surd(a^2 - z^2) : a = \frac{a^2}{\surd az} : \frac{a^3}{\surd(a^2 - z^2)\surd az}$$

Demissio itaque ex T perpendiculari TN ad QN; punctum N est in curva quæsita. Quodsi tandem spatio SDQNH fiat æquale rectangulum ADZV, erit ob AD=a, DZ $a^2\int(dz:\sqrt{(a^3z-az^3)})$.

Habemus ergo $DZ = 2\sqrt{at}$

$$\tfrac{1}{4}DZ^2 = at$$

$$\frac{DZ^2}{4a} = t$$

Unde rectæ t, quibus puncta in isochrona paracentrica determinantur, facile inveniuntur. Nimirum fiat Db = $\frac{1}{4}$ DZ & ducatur bc ipsi ZA parallela; erit (§. *268 Geom.*) DA ; DZ = Db : Dc, consequenter

Fig. 137. Dc=t. Quare si ex centro D radio Dc describatur arcus secans DN in M; erit punctum M in isochrona paracentrica.

Videamus jam porro, quomodo summatio formulæ $dt = \frac{\int adz}{\sqrt{t}\ \sqrt{(a^2z-z^3)}}$ reducatur ad rectificationem arcus cujusdam. Quoniam $adz:\sqrt{(a^2z-z^3)}$ est elementum arcus, *per hypoth.* erit

$$\sqrt{(dx^2+dy^2)} = \frac{adz}{\sqrt{(a^2z-z^3)}}$$

$$dx^2+dy^2 = \frac{a^2dz^2}{a^2z-z^3}$$

Quoniam coordinatæ curvæ rectificandæ dx & dy per z dari debent, quadratum $a^2dz^2:(a^2z-z^3)$ seu ejus multiplum dividendum est in duo alia, quorum latera, si fieri potest, sunt summabilia. Quamobrem cum numerator a^2dz^2 debeat esse aggregatum duorum quadratorum, evidens est requiri, ut quadrata non modo diversa habeant signa, verum etiam tales denominatores, qui in se invicem ducti producunt a^2z-z^3. Enimvero cum a^2z-z^3 in istiusmodi factores resolvi nequeat, fieri autem id possit, si mutetur in $a^2z^2-z^4$, cum tunc factores sint $az+z^2$ & $az-z^2$ (§. *86. Anal.*); fractio $a^2dz^2:(a^2z-z^3)$ ducatur in z ut habeatur $a^2zdz^2:(a^2z^2-z^4)$. Quare si laterum numeratores dicantur interea q & w; erunt latera $qdz:(\sqrt{az+z^2})$ & $wdz:(\sqrt{az-z^2})$. Ex differentiandi regulis constat, fore latera summabilia, si fiat $q = \frac{a+2z}{2}$ & $w = \frac{a-2z}{2}$, adeoque ipsa latera fiant $\frac{(a+2z)dz}{2\sqrt{(az+z^2)}}$ & $\frac{(a-2z)dz}{2\sqrt{(az-z^2)}}$.

Videamus itaque, an quadratorum summa = $\frac{a^2dz^2}{a^2z-z^3}$. Quoniam itaque

$$dx = \frac{(a+2z)dz}{2\sqrt{(az+z^2)}} \ \&\ dy = \frac{(a-2z)dz}{2\sqrt{(az-z^2)}}$$

erit

erit $dx^2 = \frac{(a^2 + 4az + 4z^2)dz^2}{4az + 4z^2}$ & $dy^2 = \frac{(a^2 - 4az + 4z^2)dz^2}{4az - 4z^2}$ seu reductione ad eandem denominationem facta $dx^2 = (4a^3z + 16a^2z^2 + 16az^3 - 4a^2z^2 - 16az^3 - 16z^4)dz^2 : (16a^2z^2 - 16z^4)$ & $dy^2 = (4a^3z - 16a^2z^2 + 16az^3 + 4a^2z^2 - 16az^3 + 16z^4)dz^2 : (16a^2z^2 - 16z^4)$, adeoque $dx^2 + dy^2 = 8a^3zdz^2 : (16a^2z^2 - 16z^4) = a^3dz^2 : (2a^2z - 2z^3)$, seu multiplum quadrati dividendi, consequenter $\sqrt{(dx^2 + dy^2)} = dz\sqrt{a^3} : \sqrt{(2a^2z - 2z^3)}$.

Est vero

$$\frac{dt}{\sqrt{t}} = \frac{adz}{\sqrt{(a^2z - z^3)}}$$

$$\frac{dt\sqrt{a}}{\sqrt{2t}} = \frac{adz\sqrt{a}}{\sqrt{(2a^2z - z^3)}}$$

$$\frac{adt}{\sqrt{2at}} =$$

$$\frac{at^{-1:2}dt}{\sqrt{2a}} = \frac{dz\sqrt{a^3}}{\sqrt{(2a^2z - z^3)}} = dv$$

$$\frac{2at^{1:2}}{\sqrt{2a}} = \sqrt{2at} = v$$

$$2at = v^2$$

$$t = v^2 : a$$

Quoniam itaque per hanc æquationem valor ipsius t inveniri potest; pro construenda curva isochrona paracentrica prius construi debet curva, in qua altera coordinata est $\sqrt{(az + z^2)}$ seu semiordinata hyperbolæ æquilateræ, cujus axis transversus $= a$ abscissa $= z$ (§. 507. *Analys.*), altera $\sqrt{(az - z^2)}$, seu semiordinata circuli, cujus diameter $= a$, abscissa $= z$ (§. 377. *Anal.*).

Ut curvæ hujus natura intelligatur, fiat

$$x = \sqrt{(az + z^2)} \qquad y = \sqrt{(az - z^2)}$$

erit

$$x^2 = az + z^2 \qquad y^2 = az - z^2$$

$$\tfrac{1}{4}a^2 + x^2 = \tfrac{1}{4}a^2 + az + z^2$$

$$\sqrt{(\tfrac{1}{4}a^2 + x^2)} = \tfrac{1}{2}a + z$$

$$z = \sqrt{(\tfrac{1}{4}a^2 + x^2)} - \tfrac{1}{2}a$$

$$az = a\sqrt{(x^2 + \tfrac{1}{4}a^2)} - \tfrac{1}{2}a^2$$

$$z^2 = x^2 + \tfrac{1}{4}a^2 - a\sqrt{(x^2 + \tfrac{1}{4}a^2)} + \tfrac{1}{4}a^2$$
$$= x^2 + \tfrac{1}{2}a^2 - a\sqrt{(x^2 + \tfrac{1}{4}a^2)}$$

$$az - z^2 = 2a\sqrt{(x^2 + \tfrac{1}{4}a^2)} - x^2 - a^2$$
$$y^2 =$$

$$y^2 + x^2 + a^2 = 2a\sqrt{(x^2 + \tfrac{1}{4}a^2)}$$

$$y^4 + 2y^2x^2 + x^4 + 2a^2y^2 + 2a^2x^2 + a^4 = 4a^2x^2 + a^4$$

$$y^4 + 2y^2x^2 + 2a^2y^2 = 2a^2x^2 - x^4.$$

Est itaque curva tertii generis (§. 382. *Analys.*).

Fiat

Fiat $x=0$

erit $y^4+2a^2y^2=0$

$$y=0$$

Fiat $y=0$

erit $2a^2x^2-x^4=0$

$$2a^2=x^2$$

$$\sqrt{2a^2}=x$$

Tab. XIV. b. Fig. 139. In vertice ergo D est origo utriusque indeterminatæ x & y. Quando ergo $DG=x=\sqrt{2a^2}$, semiordinata y evanescit, adeoque curva secat axem in G.

Porro si æquatio differentietur, erit

$$4y^3dy+4yx^2dy+4y^2xdx+4a^2ydy=4a^2xdx-4x^3dx$$

Quare si fiat $dy=0$, erit

$$4y^2xdx=4a^2xdx-4x^3dx$$

$$y^2=a^2-x^2$$

$$y=\sqrt{(a^2-x^2)}$$

quæ est maxima applicata (§. 63. *Analys. infinit.*). Quoniam vero $\sqrt{(a^2-x^2)}$ est semiordinata circuli HI (§. 377. *Anal.*), maxima applicata cadit in I, ubi circulus ex centro D radio $DN=a$ descriptus curvam secat.

Ponatur in æquatione $a^2-x^2=y^2$ valor ipsius $y^2=2a\sqrt{(x^2+\frac{1}{4}a^2)}-x^2-a^2$, habemus

$$a^2-x^2=2a\sqrt{(x^2+\tfrac{1}{4}a^2)}-x^2-a^2$$

$$2a^2=2a\sqrt{(x^2+\tfrac{1}{4}a^2)}$$

$$a=\sqrt{(x^2+\tfrac{1}{4}a^2)}$$

$$a^2=x^2+\tfrac{1}{4}a^2$$

$$\tfrac{3}{4}a^2=x^2$$

$$x=\sqrt{\tfrac{3}{4}a^2}=DH$$

Quodsi ponamus abscissarum originem in G & $GQ=v$, erit $DQ=x=b-v$, adeoque æquatio ob $b=\sqrt{2a^2}$ in hanc degenerat:

$$b^2(b-v)^2-(b-v)^4=y^4+2y^2(b-v)^2+b^2y^2$$

Fiat jam $v>b$, e. gr. $=\frac{3}{2}b$

erit $b-v=b-\frac{3}{2}b=-\frac{1}{2}b$

$(b-v)^2=\frac{1}{4}b^2$; $2(b-v)^2=\frac{1}{2}b^2$

$(b-v)^4=\frac{1}{16}b^4$

consequenter

$$\tfrac{1}{4}b^4-\tfrac{1}{16}b^4=y^4+\tfrac{1}{2}b^2y^2+b^2y^2$$

h. e. $\frac{3}{16}b^4=y^4+\frac{3}{2}b^2y^2$

Cum itaque valor ipsius y non fiat imaginarius, etiamsi v seu GQ sumatur major quam GD, seu axe curvæ GIFDIG; curva ultra D continuatur, adeoque se mutuo secant partes in D, hoc est, curva nodum in D habet. Ex constructione autem patet, partem inferiorem fore priori similem.

Ut determinetur angulus, sub quo curva axem in D secat, investiganda est ut supra (§. 336.) ratio laterum infinite parvorum Dq & qf.

Quodsi

Quodsi enim Df sumatur pro sinu toto, erit fq sinus, Dq cosinus anguli quæsiti. Quodsi ergo in communi axe hyperbolæ atque circuli genetricium abscissa sumatur dz, semiordinata hyperbolæ erit $\sqrt{(adz + dz^2)}$ (§. 507. *Analys.*), circuli vero $\sqrt{(adz - dz^2)}$ (§. 377. *Analys.*), hoc est, cum dz^2 differentiale secundi gradus respectu primi adz evanescat, utrobique $= \sqrt{adz}$. Quoniam itaque per constructionem Dq est semiordinata hyperbolæ & qf semiordinata circuli; erit ad verticem $qf = qD$, adeoque qDf angulus curvæ cum axe semirectus (§. 241. *Geom.*), consequenter angulus curvæ rectus est.

Potest idem etiam aliis modis ostendi. Nimirum

$$qD = dx = \frac{(a + 2z)dz}{2\sqrt{(az + z^2)}}$$

$$qf = dy = \frac{(a - 2z)dz}{2\sqrt{(az - z^2)}}$$

Sed in casu instantis evanescentiæ z fit dz. Quare si pro z substituatur dz, erit

$$qD = \frac{adz + 2dz^2}{2\sqrt{(adz + dz^2)}}$$

$$qf = \frac{adz - 2dz^2}{2\sqrt{(adz - dz^2)}}$$

Est vero dz^2 respectu $dz = 0$. Ergo per ea, quæ modo diximus.

$$qD = \frac{adz}{2\sqrt{adz}} = \tfrac{1}{2}\sqrt{adz}$$

$$qf = \frac{adz}{2\sqrt{adz}} = \tfrac{1}{2}\sqrt{adz}$$

Ergo $qD = qf$, ut ante

Idem inveniri debet, si in æquatione differentiali ad curvam pro x substituatur dx & pro y ponatur dy. Æquatio enim $a^2xdx - x^3dx = y^3dy + x^2ydy + y^2xdx + a^2ydy$ facta substitutione in sequentem degenerat:

$$a^2dx^2 - dx^4 = dy^4 + 2dx^2dy^2 + a^2dy^2$$

Quare cum sit $dx^4 = 0$

$$dy^4 = 0 \quad dx^2dy^2 = 0$$

erit $a^2dx^2 = a^2dy^2$

$$dx^2 = dy^2$$

$$dx = dy$$

hoc est, $qD = qf$, ut ante

Immo potest etiam in æquatione ad curvam $2a^2x^2 - x^4 = y^4 + 2y^2x^2 + 2a^2y^2$ pro x substitui dx & in locum ipsius y surrogari dy: quo facto habemus

$$2a^2dx^2 - dx^4 = dy^4 + 2dy^2dx^2 + 2a^2dy^2$$

Sed $dx^4 = 0 \quad dy^4 = 0 \quad 2dy^2dx^2 = 0$

Ergo $2a^2dx^2 = 2a^2dy^2$

$$dx = dy, \text{ ut ante}$$

Ut

Ut tandem etiam intelligatur natura isochronæ paracentricæ, cum pro ea sit

$$\frac{adt}{\sqrt{2at}} = \frac{dz\sqrt{a^3}}{\sqrt{(2a^2z-z^3)}} = dv$$

seu $t = v^2 : 2a$,

si fiat $\overline{dz=0}$

erit $\overline{dv=0}$

adeoque $t=0$

Curva itaque axem in D secat.

Ex ipsa autem constructione apparet, si DQ $= z$ fiat $= a$, seu DN, rectam DM super DO cadere, atque adeo curvam axem in E secare, ultra eum ex altera parte continuandam. Est vero tum $v =$ DFIG, adeoque DE $=$ (DFIG)^2 : $2a$.

Patet idem ex valoribus x & y. Etenim si sit

$$z = a$$

$$\text{erit } x = \sqrt{(az+z^2)} = \sqrt{2a^2} = DG$$

$$\& \; y = \sqrt{(az-z^2)} = \sqrt{(a^2-a^2)} = 0$$

$$\text{adeoque } DE = t = v^2 : 2a = (DFIG)^2 : 2a$$

Habemus hinc

$$DE : DFIG = DFIG : 2a$$

Quoniam vero curva isochrona paracentrica utrinque ultra axem continuatur, se mutuo in E partes secant.

SCHOLION.

350. *Poterat quoque problema præsens ad modum præcedentis variis modis universalius resolvi, nimirum in quacunque gravitatis hypothesi, cum in solutione* Galilæanam *supposuerimus sumentes celeritatem acquisitam in ratione subduplicata altitudinis. Sed non opus est, ut istiusmodi solutionibus immoremur.*

DEFINITIO 39.

351. *Curva Tautochrona* dicitur, in qua mobile per quoscunque arcus eodem tempore descendit.

COROLLARIUM.

352. Quoniam descensus per Cycloidem & quemcunque ejus arcum sunt æquidiuturni (§. 311.); cyclois curva tautochrona est (§. 351.).

PROBLEMA 50.

353. *Determinare tempus descensus per curvam in quacunque gravitatis hypothesi, sive directiones supponantur parallelæ, sive convergentes.* Tab. XIV. b. Fig. 140.

RESOLUTIO.

Sit altitudo AP, per quam descendit grave, AMB curva descensus, ANR curva celeritatis, PN celeritas in P acquisita, in C centrum gravium. Radiis CM & cm infinite propinquis describantur arcus PM & pm, sitque AP $= x$, PM $= y$: erit Pp $=$ MR $= dx$, R$m = dy$, adeoque M$m =$ $\sqrt{(dx^2}$

$\surd(dx^2 + dy^2)$. Quoniam motus per M æquabilis, erit $Mm = dt \cdot PN$ (§. 34.), consequenter

$$\surd(dx^2 + dy^2) = dt \cdot PN$$

$$dt = \surd(dx^2 + dy^2) : PN$$

Si punctum C infinite distet, arcus PM & *pm* evadent rectæ ad AC perpendiculares, manentque omnia ut ante.

Quodsi ex hypothesi gravitatis speciali substituatur valor ipsius PN, sive celeritatis; prodibit valor temporis pro illa gravitatis hypothesi. Si vero ulterius ex æquatione ad curvam substituatur valor ipsius y per x; prodibit tempus in casu speciali dato.

In hypothesi *Galilæana* $PN = \surd x$ sive, si parameter parabolæ, quæ curva celeritatum ANR, fuerit a, $PN = \surd ax$ (§. 87. 89.). Ergo tempus per $Mm = \surd(dx^2 + dy^2) : \surd ax$, adeoque $dt^2 = (dy^2 + dx^2) : ax$.

Sit jam curva descensus AMB etiam parabola, cujus vertex in A, axis AT; erit in hypothesi directionum parallelarum $AQ = PM = y$, $QM = AP = x$, adeoque (§. 388. *Analyf.*).

$$x^2 = ay$$

$$2xdx = ady$$

$$4x^2dx^2 : a^2 = dy^2$$

Ergo $dt^2 = (4x^2dx^2 + dx^2) : ax$

$$a^2$$

$$= (4x^2 + a^2)dx^2 : a^3x$$

$$dt = dx\surd(4x^2 + a^2) : \surd a^3x$$

Quoniam $dt = \surd(dx^2 + dy^2) : \surd ax$; poterat idem valor facilius inveniri, elementum arcus parabolici $Mm = dx\surd(4x^2 + a^2) : a$ (§. 146. *Anal. infin.*), dividendo per celeritatem in M acquisitam $= \surd ax$.

Est igitur $t = \int(dx\surd(4x^2 + a^2) : a\surd ax) = PO$.

Quodsi per quadraturam alicujus curvæ ANR curva temporum construi debet, dividendo spatium APN per quantitatem constantem a; erit elementum illius curvæ $PNnp = dx\surd(4x^2 + a^2) : \surd ax$.

Quare cum sit $Pp = dx$; erit semiordinata ejus $PN = \surd(4x^2 + a^2) : \surd ax$, seu, si $a = 1$, $PN = a\surd(4x^2 + a^2) : \surd ax$. Est vero $\surd ax$ semiordinata parabolæ, cujus abscissa $AP = x$, parameter $= a$ (§. 392. *Analyf.*), $\surd(4x^2 + a^2)$ abscissa hyperbolæ æquilateræ a centro computata, cujus axis transversus $= 2a$, semiordinata $= 2x$ (§. 147. *Anal. infin.*). Curva igitur, a cujus quadratura pendet constructio curvæ tem-

Tab. XIV. Fig. 141. temporum, ita construitur. Circa communem axem AX construatur parabola AMT & hyperbola æquilatera AOV (§. *400. 472. Anal.*), cujus centrum in C, axis dimidius $AC = a$, qui simul parabolæ AMT parameter. Ducta semiordinata parabolæ PM, fiat $CQ = 2 AP = 2x$, erit ex Q erecta ad CQ perpendiculari $QO = \sqrt{(4x^2 + a^2)}$. Ducatur TF parallela ipsi CX per punctum M & AH parallela ipsi QG, erit $TL = CA = a$ & $TC = PM = \sqrt{ax}$. Fiat $TG = QO = \sqrt{(4x^2 + a^2)}$ & ducatur FG parallela ipsi LC, erit (§. *268. Geom.*).

$$TC : TL = TG : TF$$
$$\sqrt{ax} : a = \sqrt{(4x^2 + a^2)} :$$
$$TF = \frac{a\sqrt{(4x^2 + a^2)}}{\sqrt{ax}}$$

Quodsi ergo PM continuetur in N, donec $PN = TF$, erit punctum N in curva temporum.

Si curvæ temporum constructionem ad rectificationem alicujus curvæ reducere volueris; fiat

$$\frac{dx\sqrt{(a^2 + 4x^2)}}{a\sqrt{ax}} = \sqrt{(dz^2 + dy^2)}$$

erit $$\frac{a^2dx^2 + 4x^2dx^2}{a^3x} = dz^2 + dy^2$$

Fiat jam $$dz^2 = \frac{dx^2}{ax}$$
$$dy^2 = \frac{4x^2dx^2}{a^3x}$$
$$= \frac{4xdx^2}{a^3}$$

erit $$a^{-1:2}x^{-1:2}dx = dz$$
$$2a^{-1:2}x^{1:2} = z$$
$$\frac{2\sqrt{x}}{\sqrt{a}} = z$$
$$dy = 2x^{1:2}a^{-3:2}dx$$
$$y = \tfrac{4}{3}x^{3:2}a^{-3:2}$$
$$= \frac{4x\sqrt{x}}{3a\sqrt{a}}$$

sit $a = 1$; erit

$$z = 2\sqrt{ax} \qquad y = \frac{4x\sqrt{x}}{3\sqrt{a}}$$
$$z^2 = 4ax \qquad \tfrac{9}{16}ay^2 = x^3$$

Æquatio prima est ad parabolam Apollonianam (§. *388. Anal.*) cujus parameter $4a$, abscissa x, semiordinata z: altera vero ad parabolam secundi generis, cujus parameter $= \frac{9}{16}a$, abscissa ad parabolam externam relata $= x$, semiordinata $= y$, seu abscissa $= y$, semiordinata $= x$ (§. *519. Analys.*). Construenda igitur est parabola Tab. XIV. b. Fig. 142.

pa-

parametro $4a$ AMR (§. 393. *Anal.*) & alia secundi generis, cujus parameter $\frac{9}{16}a$, ANT (§. 581. *Anal.*): erit PM $= z$ abscissa, PN $=$ AQ $= y$ semiordinata curvæ, a cujus quadratura pendet constructio curvæ temporis. Ut curvæ hujus natura intelligatur, substituatur in æquatione $x^3 = \frac{9}{16}ay^2$ valor ipsius $x = z^2 : 4a$ ex æquatione prima inventus, erit ob $x^3 = z^6 : 64a^3$ æquatio ad illam curvam

$$\frac{z^6}{64a^3} = \frac{9}{16}ay^2$$

adeoque $z^6 = 36a^4y^2$ quæ est curva quinti generis (§. 382. *Analys.*) ex familia parabolarum, seu paraboliformium (§. 519. *Anal.*).

Tab. XIV. a. Fig. 143. Sit DMA quadrans circuli, cujus radius CA $= a$, CP $= x$ erit Mm $= adx : \sqrt{(a^2 - x^2)}$ (§. 153. *Anal. infin.*), adeoque $dt = adx : \sqrt{(a^2 - x^2)}\sqrt{ax}$, quod elementum cum coincidat cum eo, quod paulo ante (§. 349.) pro invenienda curva isochrona paracentrica reperimus; quæ ad ejus summationem spectant, ibidem relegenda sunt.

Tab. III. Fig. 39. Sit CMD cyclois, AOD semicirculus genitor, DN $= x$, AD $= a$, erit AN $= a - x$. Quare cum Mm $= dx\sqrt{(a^2 - ax)} : (a - x)$ *per demonstrata* (§. 168. *Analys. infin.*) $= dx\sqrt{a} : \sqrt{(a - x)}$; erit

$$dt = \frac{dx\sqrt{a}}{\sqrt{(a-x)}\sqrt{x}} = \frac{dx\sqrt{a}}{\sqrt{(ax-x^2)}} = \frac{2adx\sqrt{a}}{2a\sqrt{(ax-x^2)}}$$

$$t = \frac{\sqrt{a}}{a} \cdot \int\frac{adx}{2\sqrt{(ax-x^2)}}$$

Enimvero $\int(adx : 2\sqrt{(ax - x^2)})$ $=$ arcui ALO (§. 157. *Analys. infin.*), $2\sqrt{a} = 2\sqrt{AD}$ & $a =$ AD. Ergo tempus descensus per arcum MC $= 2\sqrt{AD}$. ALO : AD.

Quodsi ergo x sive AN degeneret in a sive AD, erit tempus descensus per semicycloidem CMD $= 2\sqrt{AD}$. DOA : DA.

PROBLEMA 51.

354. *Detrminare tempus descensus in convexitate curvæ, in quacunque gravitatis hypothesi, sive directiones sint parallelæ sive convexæ.* Tab. XIV. Fig. 140.

RESOLUTIO.

Sit ANR curva, per quam gravedescendit, AP $= x$, PN $= y$, erit Nn $= \sqrt{(dx^2 + dy^2)}$. Sit celeritas in P acquisita $= v$, erit ut in probl. præced. (§. 353.), si elementum temporis fuerit dt, $dt = \sqrt{(dx^2 + dy^2)} : v$.

Digitized by Google

In hypothesi *Galilæana* $v = \sqrt{x}$ (§. 87. 89.). Ergo $dt = \sqrt{(dx^2 + dy^2)} : \sqrt{x}$. Quare si ex æquatione ad curvam descensus substituatur ut ibidem valor ipsius dy^2; prodibit æquatio ad curvam temporis.

Sit ANR parabola; erit (§. 21. *Anal. infin.*).

$$adx = 2ydy$$
$$\frac{adx}{2y} = dy$$
$$dy^2 = a^2dx^2 : 4y^2$$
$$= a^2dx^2 : 4ax$$

Quare

$$dt = \sqrt{(dx^2 + \frac{a^2dx^2}{4ax})} : \sqrt{x}$$
$$= \frac{dx\sqrt{(4ax + a^2)}}{\sqrt{4ax}\sqrt{x}}$$
$$= \frac{dx\sqrt{(4ax + a^2)}}{2\sqrt{ax^2}} = \frac{dx\sqrt{(ax + \frac{1}{4}a^2)}}{x\sqrt{a}}$$
$$t = \int dx\sqrt{(ax + \tfrac{1}{4}a^2)} : x\sqrt{a}$$

Quare si hic valor sumitur pro spatio curvilineo per $\sqrt{a}$ diviso; erit semiordinata curvæ, a cujus quadratura constructio curvæ temporis pendet, $\sqrt{(ax + \frac{1}{4}a^2)} : x$. Est vero $\sqrt{(ax + \frac{1}{4}a^2)}$ semiordinata parabolæ, cujus parameter $= a$, si abscissæ a foco, cujus distantia a vertice $= \frac{1}{4}a$ (§. 396. *Analys.*), computentur. Quare curvæ quadrandæ vertex est in foco parabolæ & assumta parametro a pro unitate, semiordinata curvæ, a cujus quadratura constructio curvæ temporis pendet, est quarta proportionalis ad parabolæ abscissam a foco computatam, semiordinatam & parametrum. Sit semiordinata hujus curvæ $= v$, erit

$$v = a\sqrt{(4ax + a^2)} : 2x$$
$$vx = \tfrac{1}{2}a\sqrt{(4ax + a^2)}$$
$$v^2x^2 = a^3x + \tfrac{1}{4}a^4$$

Est igitur curva tertii generis (§. 382. *Analys.*), sed facillimæ, quemadmodum apparet, constructionis.

Quodsi constructionem curvæ temporis reducere volueris ad rectificationem alicujus curvæ, cujus elementum $= \sqrt{(dz^2 + dy^2)}$, abscissa scilicet existente z, semiordinata y; erit

$$\frac{4axdx^2 + a^2dx^2}{4ax^2} = dz^2 + dy^2$$

Fiat

$$dz^2 = \frac{4axdx^2}{4ax^2} \qquad dy^2 = \frac{a^2dx^2}{4ax^2}$$
$$= dx^2 : x \qquad = adx^2 : 4x^2$$
$$dz = x^{-1:2}dx \qquad dy = \frac{dx\sqrt{a}}{2x}$$
$$z = 2x^{1:2} \qquad y = \int\frac{dx\sqrt{a}}{2x}$$
$$= 2\sqrt{x}$$

Est

Est vero $\sqrt{x}$ semiordinata parabolæ, cujus parameter $=1$, (§. *392. Anal.*) & $\int \frac{dx}{x}$ spatium hyperbolicum asymptoticum, cujus latus potentiæ $=1$ (§. *118.* A*nal infin.*). Quare curva, a cujus rectificatione pendet curvæ temporis constructio, construetur, si abscissæ fiant semiordinatis parabolæ duplis, semiordinatæ autem spatiis hyperbolicis dimidiis per $\sqrt{a}$ divisis æquales, axe parabolæ existente simul asymptoto hyperbolæ. Arcus hujus curvæ erunt ut tempus descensus per convexitatem parabolæ.

Si curva ANR fuerit cyclois & diameter circuli genitoris $=1$, erit $Nn = dx : \sqrt{x}$ (§. *168. Analys. infin.*), adeoque $dt = dx : x$, Pendet adeo temporis determinatio a quadratura hyperbolæ intra asymptotos (§. *120. Anal. infin.*): Et quoniam $t = \int dx : x$, sed $\int dx : x$ logarithmus ipsius x sumtus in logarithmica, cujus subtangens $=1$ (§. *243. Anal. infin.*), tempus descensus per convexitatem cycloidis etiam per logarithmos determinari potest.

DEFINITIO 40.

355. *Curva brachystochrona* est, per quam grave tempore minore a puncto dato ad aliud datum, quam per quamvis aliam descendit. Dicitur etiam *Oligochrona*, item *curva celerrimi descensus.*

SCHOLION.

356. *Problema hoc proposuit* Joannes Bernoulli. *Analysi suppressa cycloidem esse monuerunt* Leibnitius (o) & Hospitalius (p). *Solutionem integram exhibuit* Jacobus Bernoulli (q), *methodo synthetica ex natura descensus celerrimi quandam ejus proprietatem deducens, quam cycloidi convenire postea ostendit.* Joannes *vero* (r) *ex fundamentis dioptricis id solvit, propterea quod advertit eam eandem esse cum curvatura radii per medium uniformiter densum propagati. Equidem solutio facilis videri poterat prima fronte. Cum enim tempus descensus per arculum Mm infinite parvum sit minimum, hoc vero sit* $\sqrt{(dx^2 + dy^2)} : \sqrt{x}$ *in hypothesi* Galilæana (§. 354.); *non alia re opus esse videbatur, quam ut ejus differentiale ponatur nihilo æquale* (§ 63 Anal. infin.). *Enimvero tentanti apparebit, sic nos delabi ad æquationem differentialem tertii gradus. Alia igitur via incedere libet, quæ nos tandem deducit ad analogiam* Joannis Bernoulli *sive supposita identitate* Brachystochronæ *cum curvatura radii per medium non uniformiter densum propagati.*

(o) In Actis Erudit. A. 1697. p. 203.
(p) Ibid. p. 217. (q) Ibid. p. 212.
(r) Ibid. p. 207. & seqq.

PROBLEMA 52.

Tab. XIV. b. Fig. 144. 357. *Invenire curvam brachystochronam sive celerrimi descensus.*

RESOLUTIO.

Sint semiordinatæ PM, *pm* & Q*n* infinite propinquæ, & P*p*=*p*Q; erunt arcus M*m* & *mn* infinite parvi, & demissis perpendicularibus MR & *m*O, erectaque perpendiculari *n*S ipsi *pm* continuatæ in S occurrente, erit MR=*m*O=*n*S & RS respectu arcus M*n* constans.

Sit jam AP=x, PM=y; erit P*p* =PQ=MR=*n*S=dx, *m*R=dy & M*m*=$\sqrt{(dx^2+dy^2)}$. Sit RS=b; erit *m*S=O*n*=$b-dy$, adeoque *mn* =$\sqrt{(dx^2+b^2-2bdy+dy^2)}$.

Quoniam motus per M*m* est æquabilis, erit toto tempusculo descensus celeritas constans, nempe ea, quæ descensu per altitudinem AP acquisita. Ex eadem ratione celeritas in descensu per arculum *mn* constans est, nempe ea, quæ descensu per altitudinem AQ acquisita. Sit prior=c, posterior=C, erit tempus descensus per M*m*= $\sqrt{(dx^2+dy^2)}:c$ & tempus per *mn* =$\sqrt{(dx^2+b^2-2bdy+dy^2)}:C$ (§. 39.), consequenter tempus descensus per M*m*+*mn*=dt=

$$\frac{\sqrt{(dx^2+dy^2)}}{c}+\frac{\sqrt{(dx^2+b^2-2bdy+dy^2)}}{C}$$

Quoniam tempusculum minimum est, & dx constans, dy vero variabilis, erit (§. 63. *Anal. infin.*).

$$ddt=\frac{dyddy}{c\sqrt{(dx^2+dy^2)}}+\frac{dyddy-2bddy}{C\sqrt{(dx^2+b^2-2bdy+dy^2)}}=0$$

hoc est

$$\frac{dy}{c\sqrt{(dx^2+dy^2)}}=\frac{b-dy}{C\sqrt{(dx^2+b^2-2bdy+dy^2)}}$$

sive

$$\frac{mR}{c.Mm}=\frac{mS}{C.mn}$$

$$C.mn.mR=c.Mm.mS$$

adeoque

$$Mm:mn=C.mR:c.mS$$

Jam in hypothesi *Galilæana* C=$\sqrt{Ap}$ & $c=\sqrt{AP}$ (§. 87. 89.).

Quare M*m*:*mn*=*m*R.$\sqrt{Ap}$:*m*S.$\sqrt{AP}$

Quæ est proprietas curvæ brachystochronæ a *Jacobo Bernoulli* alia via eruta.

Quodsi fiat M*m*=*mn*, erit C.*m*R=c.*m*S, adeoque

$$c:C=mR:mS$$

$$\& \; c:mR=C:mS$$

hoc est, elementa semiordinatarum

rum mR & mS sive nO sunt ut celeritates acquisitæ, seu ad has celeritates in ratione constante: id quod est fundamentum solutionis *Joannis Bernoulli* ex dioptricis principiis ab ipso derivatum.

Quodsi jam arcus $Mm = \surd(dx^2 + dy^2)$ sumatur constans, dx fiet variabilis. Sit celeritas in M acquisita $= v$ & ratio constans ipsius dy ad eandem $= Mm : a$, erit

$$dy : v = \surd(dx^2 + dy^2) : a$$

$$ady = v\surd(dx^2 + dy^2)$$

$$a^2dy^2 = v^2dx^2 + v^2dy^2$$

$$a^2dy^2 - v^2dy^2 = v^2dx^2$$

$$dy^2 = \frac{v^2dx^2}{a^2 - v^2}$$

$$dy = \frac{vdx}{\surd(a^2 - v^2)}$$

Formula hæc generalis est & in omni hypothesi gravitatis, etiam utcunque variabilis, obtinet. Quodsi jam substituatur valor ipsius v ex data gravitatis hypothesi, prodibit formula specialis.

Sit itaque in hypothesi gravitatis constantis

$v^2 = ax$, adeoque $v = \surd ax$

erit $$dy = \frac{dx\surd ax}{\surd(a^2 - ax)}$$

$$= \frac{ax\surd x}{\surd(a-x)}$$

$$= \frac{xdx}{\surd(ax - x^2)}$$

Est vero $xdx : \surd(ax - x)$ differentia inter $adx : 2\surd(ax - x^2)$ & $(adx - 2xdx) : 2\surd(ax - x^2)$. Ergo

$$dy = \frac{adx}{2\surd(ax - x^2)} - \frac{(adx - 2xdx)}{2\surd(ax - x^2)}$$

$$y = \int \frac{adx}{2\surd(ax - x^2)} - \int \frac{(adx - 2xdx)}{2\surd(ax - x^2)}$$

$$= \int \frac{adx}{2\surd(ax - x^2)} - \surd(ax - x^2)$$

Est vero $\surd(ax - x^2)$ semiordinata circuli DH diametro $CB = a$ descripti (§. 377. *Analys.*) & $\int(adx : 2\surd(ax - x^2))$ arcus CH (§. 157. *Anal. infin.*). Quamobrem $y =$ arcui $CH - DH = PM$. Est vero in cycloide $MH =$ arcui BH (§. 575. *Analys.*) & $AC = PM + MH + HD$ = arc. CH + arc. HB (§ 574. *Anal.*). Ergo in eadem arc. $CH = PM + HD$, consequenter PM est æqualis differentiæ inter arcum CH & ejus sinum HD. Tab. XV. Fig. 145.

Curva igitur celerrimi descensus sive brachystochrona est cyclois, adeoque eadem cum tautochrona (§. 352.).

COROLLARIUM.

358. Quoniam in cycloide PM = arc. CH —

CH — HD (§. 357.); si utrumque æquationis membrum multiplices per dimidium circuli genitoris radium $= \frac{1}{2}$ OC, prodibit

$$\tfrac{1}{2}OC.PM = \tfrac{1}{2}OC.arc.CH - \tfrac{1}{2}OC.HD$$
$$\tfrac{1}{2}OC.arc.CH = Sect.\ COH \text{ (§. 435. Geom.)}$$
$$\tfrac{1}{2}OC.HD = \triangle\ COH \text{ (§. 392. Geom.)}$$

$$\tfrac{1}{2}OC.PM = Sect.\ COH - \triangle\ COH = \text{segmento } HIC \text{ (§. 436. Geom.)}$$

Est adeo cyclois externa segmentorum circularium repræsentatrix.

SCHOLION 1.

359. *Elegantem hanc cycloidis proprietatem, etsi ad mechanicam non spectet, hic tamen annotari consultum fuit, ubi ex demonstratis tanta facilitate fluit. Poterat vero etiam ex formula analytica deduci. Etenim elementum arcus* AC $= adx : 2\sqrt{(ax - x^2)}$ (§ 157. Anal. infin), *qui in* $\frac{1}{2}CO = \frac{1}{4}a$ *ductus producit elementum sectoris* $= a^2dx : 8\sqrt{(ax - x^2)}$ (§ 435. Geom.). *Quodsi porro* DH *altitudinem* $\triangle$ COH $= \sqrt{(ax - x^2)}$ *in basin ejus dimidiam* $\frac{1}{2}CO = \frac{1}{4}a$ *ducas, prodibit area* $\triangle$COH $= \frac{1}{4}a\sqrt{(ax - x^2)}$ (§ 392. Geom.), *cujus adeo elementum* $= (a^2dx - 2axdx) : 8\sqrt{(ax - x^2)}$. *Quare si hoc elementum trianguli ab elemento sectoris auferas, relinquetur elementum segmenti* HIC $= axdx : 4\sqrt{(ax - x^2)}$ (§. 436. Geom.). *Est vero elementum ipsius* PM $= xdx : \sqrt{(ax - x^2)}$ (§. 357.). *Quodsi ergo idem in* $\frac{1}{4}a$ *seu* $\frac{1}{2}CO$ *ducas, prodibit* $axdx : 4\sqrt{(ax - x^2)}$ *elementum sectoris modo repertum, consequenter sector* $= \frac{1}{4}a \int (xdx : \sqrt{(ax - x^2)}) = \frac{1}{2}CO.PM$.

SCHOLION 2.

360. *Quodsi detur altitudo, per quam grave ad locum datum in linea curva celerrime descendere debet, cyclois describenda est per duo puncta data. Quamobrem ut problema ad praxin transferri possit, ostendendum adhuc erit, quomodo cyclois per data duo puncta describatur.*

PROBLEMA 53.

361. *Describere cycloidem per data duo puncta* A & C *transeuntem.* Tab. XV. Fig. 146.

RESOLUTIO.

1. Jungantur puncta data A & C recta AC &
2. Describatur cyclois quæcunque ABD, circulo genitore END, quæ rectam AC in B secet.
3. Fiat deinde AB : AC = ED : FG, erit FG diameter circuli genitoris cycloidis per puncta A & C transeuntis: quo dato
4. Cyclois ACG describi potest (§. 573. *Anal.*).

DEMONSTRATIO.

Id unice demonstrandum, esse AB : AC = ED : FG, quod ut fiat, ducantur rectæ SP & TQ ad AH perpendiculares, quæ erunt inter se parallelæ (§. *256. Geom.*). Et quoniam HA, DE & GF perpendiculares ad AF *per constr.* erunt quoque eædem inter se parallelæ (§. *cit.*

(§. *cit. Geom.*). Et SP ad ED, TQ ad FG perpendiculares (§. *230. Geom.*), consequenter (§. *268. Geom.*) AB : AC = SB : TC = AS : AT = EP : FQ. ob EP = AS & AT = FQ (§. *168 Arithm.*). Sed SB = arc. EN — PN & TC = arc FR — QR (§ 357.). Ergo EP : FQ = arc. EN — PN : arc. FR — QR (§. *167. Arithm.*), consequenter DE . EP : FG . FQ = segm. EN : segm. FR (§ *185. Arithm*), quia scilicet ½ DE (arc. EN — PN) = segm. EN & ½ FG (arc. FR — QR) = segm. FR (§. *436. Geom.*). Est vero DE : EN = EN : EP & FG : FR = FR : FQ (§. *330. Geom.*), adeoque DE . EP = EN^2 & FG . FQ = FR^2 (§. *377. Geom.*), consequenter $EN^2 : FR^2$ = segm. EN : segm. FR (§. *167. Arith.*). Sunt itaque segmenta EN & FR similia (§. *406. Geom.*) & hinc etiam arcus cognomines similes sunt, consequenter EP : FQ = ED : FG (§. *12. Trigon.*). Quare cum sit AB : AC = EP : FQ *per demonstrata*; erit etiam AB : AC = ED : FG (§. *167. Arithm.*). *Q. e. d.*

ALITER.

Potest idem multo brevius ex principiis nostris similitudinis ostendi, alibi propositis (s); scilicet cum omnes cycloides sint inter se similes, erunt omnes lineæ eodem modo ad eas determinatæ proportionales. Sed AB & AC sunt chordæ arcuum cycloidicorum eandem basin AF sub eodem angulo secantes, adeoque eodem modo determinatæ, & diametri circulorum genitorum sunt rectæ ex medio basium normaliter erectæ, consequenter itidem eodem modo determinatæ. Patet ergo esse diametros circulorum genitorum ED & FG ipsis AB & AC proportionales. *Q. e. d.*

SCHOLION. 1.

362. *Patet hinc præstantia principiorum nostrorum similitudinis, ob quam merentur, quæ in Geometriam recipiantur, & ob quam etiam in eandem ipsis aditum aperuimus. Sane si quis analysin similitudinis invenire vellet, ex istis principiis deducenda forent, quæ ad eam pertinent. Per eam vero analysin, quæ ad similitudinem spectant, multo facilius reperirentur, quam per analysin magnitudinum, qua nunc sola utimur in Geometria.*

SCHOLION 2.

363. *Supposuimus in demonstratione, segmenta circulorum similia esse in ratione duplicata chordarum, nempe* $EN^2 : FR^2$ = segm. EN : segm. FR *vi principiorum Geometriæ, ex quibus id facile colligitur. Quodsi quis non videat, quomodo idem inde*

(s) In Actis Erudit. A. 1715. p. 213. & seqq. (*Wolffii Math. Tom. 2.*)

Digitized by Google

inde inferatur, demonstrationem hic subjicere licet per modum lemmatis & quidem multo universalius.

LEMMA.

Tab. XV. Fig. 146 364. *Sectores similes & segmenta similia circuli habent rationem duplicatam radiorum, subtensarum & ipsorum arcuum: immo segmenta similia curvarum similium habent rationem duplicatam subtensarum & ipsorum arcuum, aliarumque linearum quarumcunque eodem modo determinatarum.*

DEMONSTRATIO.

Sector FOR æqualis est triangulo rectangulo, cujus basis est arcus FR, altitudo radius FO, & sector ENQ æqualis est triangulo rectangulo, cujus basis est arcus EN, altitudo radius EQ (§. 415. *Geom.*). Est vero sector FOR similis sectori ENQ *per hypoth.* quare cum sectores per rationem arcuum ad radios discerni possint, erunt arcus FR & EN radiis suis FO & EQ proportionales (§. 24. *Arithm.*), consequenter triangula, quibus sectores æquales sunt, inter se similia sunt (§. 183. *Geom.*). Sunt igitur sectores in ratione duplicata radiorum & arcuum (§. 398. *Geom*). *Quod erat unum.*

Quoniam arcus FR & EN similes sunt, cum alias segmenta per eorum ad peripheriam rationem discerni possent, contra hypothesin (§. 24. *Arithm.*), in triangulis FOR & EQN anguli cognomines sunt æquales (§. 141. *Geom.*), consequenter cum utrobique crura sibi invicem sint æqualia (§. 40. *Geom.*), ipsa triangula similia sunt (§. 183. *Geom.*), adeoque in ratione duplicata radiorum (§. 398. *Geom.*). Est igitur sector FRO: sect. EQN = △ FRO : △ ENQ (§. 167. *Arithm.*), consequenter sect. FRO − △ FRO : sect. EQN − △ ENQ = sect. FRO : sect. EQN (§. 189. *Arithm.*). Ergo cum sect. FRO − △ FRO = segmento FR & sect. EQN − △ ENQ = segment. EN, quod per se patet, segment. FR : segm. EN = sector FRO : sect. EQN (§. 168. *Arithm.*). Sunt vero sectores FRO & EQN in ratione duplicata radiorum FO & EQ, atque arcuum FR & EN *per demonstr.* Ergo & segmenta FR & EN in ratione duplicata radiorum & arcuum sunt (§. 167. *Arithm.*). *Quod erat secundum.*

Arcus FR & EN sunt similes *per hypoth.* Ergo eorum sinus (§. 12. *Trigon.*), consequenter & sinuum duplæ (§. 2. *Trigon.*) chordæ sunt arcubus proportionales (§. 178. *Arithm.*). Sunt vero sectores atque

que ſegmenta in ratione duplicata arcuum, *per demonſtrata.* Ergo & in ratione duplicata chordarum (§. *167. 260. Arithm.*).

Idem vero multo univerſalius de quibuscunque curvarum ſimilium ſegmentis ſimilibus demonſtratur.

Tab. XV. Fig. 147. Si curvæ fuerint ſimiles, rectæ conſtantes, quæ æquationem ingrediuntur, eandem inter ſe rationem habent, cum alias per eam diſtingui poſſent (§. *24. Arithm.*). Quare ſi porro ſegmenta ſimilia eſſe debent, neceſſe eſt ut abſciſſæ AP & Ap ad rectas illas conſtantes a & b utrobique in eadem ſint ratione (§. *cit.*), conſequenter AP: A$p = a : b$. Quare ſi elementum ipſius AP $= dx$; erit elementum ipſius A$p = bdx : a$. Et quoniam ſemiordinatæ PM & pm, chordæ AM & am, arcusque cognomines eodem modo determinantur; erit AM : am = arc. AM : arc. am = PM : pm = AP : $ap = a : b$ (§. *120. Geom.*).

Quare ſi PM $= y$; erit $pm = by : a$. Eſt vero elementum curvæ AMP $= ydx$; alterius $amp = b^2 ydx : a^2$ (§. *98. Anal. infin.*), adeoque curvilineum AMP : $amp = \int ydx : \frac{b^2 \int ydx}{a^2}$ $= a^2$: [b²] = AM² : am^2 = PM² : pm^2 = AP² : ap^2 (§. *260. Arithm.*). Porro quia AP : PM = $ap : pm$ *per demonſtr.* & anguli ad P & p recti *per conſtr.* △ APM ∽ △ apm (§. *183. Geom.*), conſequenter △ APM : △ apm = AM² : am^2 (§. *398. Geom.*). Cum itaque ſit APM : apm = △ APM : △ apm (§. *167. Arithm.*), erit ſegment. AM : ſegm. am = APM : apm (§. *189. Arithm.*) = AM² : am^2 = PM² : pm^2 = AP² : ap^2 = arc. AM² : arc. am^2 (§. *167. Arithm.*), conſequenter in ratione duplicata linearum quarumcunque aliarum eodem modo determinatarum, veluti ſi ex P & p demittantur in AM & am perpendicula PL & pl, rectarum PL & pl *per demonſtrata. Quod erat tertium.*

SCHOLION.

365. *Qui ad demonſtrationem partis ultimæ lemmatis præſentis attendit, is fœcunditatem & utilitatem principiorum noſtrorum ſimilitudinis abunde perſpiciet: quæ in philoſophia prima tanquam ſede genuina ex notionibus puris independenter ab omni imagine derivavimus* (t).

DEFINITIO 41.

366. *Curva ſynchrona* eſt, ad cujus ſingula puncta D, m, M eodem tempore minimo grave pervenit. Tab. XV. Fig. 148.

SCHOLION.

367. *Curvam hanc primus invenit* Joan-

O 2

(t) Ontolog. §. 215. & ſeqq.

Joannes Bernoulli (u). *Ex hactenus autem traditis mira facilitate eam deducere licet.*

PROBLEMA 54.

Tab. XV. Fig. 148. 368. *Construere curvam synchronam* DmM, *data altitudine perpendiculari* CD, *per quam grave dato tempore descendit, quo ad singula puncta synchronæ pervenit.*

RESOLUTIO.

1. Describantur cycloides quotcunque CM, C*m* &c. commune initium in C habentes (§. 573. *Analys.*).
2. Erigatur in communi initio C ad basin CA perpendicularis CD, quæ sit altitudini datæ æqualis, per quam grave dato tempore descendit, seu, quod perinde est, per quam datur tempus, quo grave ad singula puncta D, *m*, M synchronæ minimo tempore pervenit (§. 357.).
3. Fiat arcus AN æqualis mediæ proportionali inter diametrum circuli genitoris AB & altitudinem CD.
4. Ex puncto N ducatur basi AC parallela NM secans cycloidem in M : erit punctum M in synchrona.

Eodem modo in cycloidibus ceteris C*m* determinantur puncta in synchrona ope circulorum genitorum ipsis respondentium.

DEMONSTRATIO.

AB : *arc.* AN = *arc.* AN : CD *per constr.*

$$AN = \sqrt{AB}.\sqrt{CD}$$

$$AN.\sqrt{AB} = AB.\sqrt{CD}$$

$$\frac{AN.\sqrt{AB}}{AB} = \sqrt{CD}.$$

Est vero AN . √AB : AB tempus descensus per arcum cycloidis CM (§. 353.) & √CD tempus descensus per altitudinem CD (§. 87.). Quare grave eodem tempore pervenit ad punctum M, quo ad punctum D descendit. Quoniam itaque eodem modo ostenditur, quod ad quodvis punctum *m* eodem tempore perveniat, quo per AD descendit; curva D*m*M est synchrona (§. 365.).

DEFINITIO 42.

369. *Curva æquilibrationis* dicitur, in qua existens pondus vel sacoma semper æquilibrium faciat cum ponte sublicio circa axem convertibili.

SCHOLION.

370. *Problema hoc solverunt* (x) Marchio Hospitalius & Jacobus Bernoulli *diversa*

(u) Vid. Acta Erudit. A. 1697.
(x) In Actis Erudit. A. 1695. p. 56. & 65.

versa ratione. Joannes Bernoulli (y) *identitatem curvæ æquilibrationis cum cycloide descripta ex circumvolutione rotæ super rota æquali demonstravit & problema generalius per communem Geometriam solvit.*

PROBLEMA 55.

Tab. XV. Fig. 149.

371. *Invenire curvam æquilibrationis.*

RESOLUTIO.

Sit pons sublicius AB, centrum gravitatis in B habens & circa axem A versatilis. Sit funis BCM trochleæ C circumductus, cujus una extremitas B pontem, altera M sacoma sustinet. Cum potentiæ laterales agentes juxta directiones BC & BA æquipolleant ponderi pontis agentis juxta directionem CA (§. 241. 280.); si CA exponit pondus pontis absolutum, BC exponet potentiam juxta BC agentem, cum qua æquilibratur pondus M. Similiter cum pondus M ad descensum sollicitetur juxta directionem CM & in curvam agat juxta directionem MK ad curvam normalem; si CM consideretur ut pars ponderis M, quæ æquivalet potentiæ ut BC, integrum pondus M erit ut CK (§§. *cit.*). Quare si sit quædam recta b ut pondus absolutum M, erit CK : CM $= b$: BC.

Sit jam CP $= x$, PM $= y$, BC $+$ CM $= a$; erit CM $= \sqrt{(x^2+y^2)}$ & hinc BC $= a - \sqrt{(x^2+y^2)}$. Est vero subnormalis PK $= ydy : dx$ (§. 35. *Anal. infin.*) & hinc CK $=$ CP $+$ PK $= x + ydy : dx = (xdx + ydy) : dx$. Quare cum sit

CK : CM $= b$: BC *per demonstr.*

erit

$$\frac{xdx+ydy}{dx}:\sqrt{(x^2+y^2)} = b : a-\sqrt{(x^2+y^2)}$$

$$xdx + ydy : dx\sqrt{(x^2+y^2)} =$$

$$bdx\sqrt{(x^2+y^2)} = axdx + aydy - xdx\sqrt{(x^2+y^2)} - ydy\sqrt{(x^2+y^2)}$$

$$bdx = \frac{axdx + aydy}{\sqrt{(x^2+y^2)}} - xdx - ydy$$

$$bx = a\sqrt{(x^2+y^2)} - \tfrac{1}{2}x^2 - \tfrac{1}{2}y^2$$

$$bx + \tfrac{1}{2}x^2 + \tfrac{1}{2}y^2 = a\sqrt{(x^2+y^2)}$$

quæ est æquatio ad curvam æquilibrationis, cui, si libuerit, etiam quantitas quædam constans addi, vel ab eadem demi potest (§ 95. *Anal. infin.*).

Ut curva hæc construatur, radio CD $= a$ describatur semicirculus FDE & ducatur DG ad FE normalis. Fiat CG $= z$, erit GD $= \sqrt{(a^2 - z^2)}$ (§. 417. *Geom.*) & (§. 268. *Geom.*).

(y) In Actis Erudit. A. 1695. p. 60.

Digitized by Google

$$CG : CD = CP : CM$$
$$z : a = x :$$

Est itaque $\frac{z . CM}{a} = x$

Porro $CD : DG = CM : PM$
$$a : \sqrt{(a^2 - z^2)} = CM : y$$
$$\frac{CM . \sqrt{(a^2 - z^2)}}{a} = y$$

Ergo $\frac{1}{2}x^2 = z^2 . CM^2 : 2a^2$
$$\frac{1}{2}y^2 = (a^2 - z^2) . CM^2 : 2a^2$$

Quodsi hi valores in æquatione ad curvam substituantur, prodibit.
$$a . CM = \frac{bz . CM}{a} + \frac{z^2 . CM^2}{2a^2}$$
$$+ \frac{a^2 . CM^2 - z^2 CM^2}{2a^2}$$
$$= \frac{bz . CM}{a} + \frac{1}{2} CM^2$$
$$2a = \frac{2bz}{a} + CM$$
$$CM = 2a - \frac{2bz}{a}$$

Punctum itaque quodlibet M facile determinatur, cum non alia re opus sit, quam ut ad radium circuli CD seu longitudinem funis BC + CM, duplum rectæ illius, quæ pondus absolutum sacomatis exponit, & rectam CG pro lubitu assumendam quæratur quarta proportionalis, ac ex diametro circuli FE auferatur.

Si sit $a = b$, erit $CM = 2a - 2z = 2GE$: qui est casus omnium simplicissimus.

Quando CM degenerat in CN, hoc est, quando fit a, curva semicirculum in N secat, tumque est
$$a = 2a - \frac{2bz}{a}$$
$$0 = a - 2bz : a$$
$$\frac{a^2}{2b} = z$$

Patet adeo, CG esse tertiam proportionalem ad $2b$ & a, si curva peripheriam circuli secat.

Quoniam subtangens $= ydx : dy$ (§. 20. *Anal. infin.*) & vi superiorum.
$$dx = \frac{aydy - ydy\sqrt{(x^2 + y^2)}}{(b + x)\sqrt{(x^2 + y^2)} - ax}$$
$$\frac{ydx}{dy} = \frac{ay^2 - y^2\sqrt{(x^2 + y^2)}}{(b + x)\sqrt{(x^2 + y^2)} - ax}$$

Quare si $CM = \sqrt{(x^2 + y^2)} = a$
erit $\frac{ydx}{dy} = \frac{ay^2 - ay^2}{(b + x)a - ax} = 0$

Ergo ubi curva peripheriam circuli secat, subtangens evanescit, adeoque semiordinata eam tangit, consequenter N est punctum infimum, sicque in nostro casu mechanico arcus CN sufficit.

Quodsi

Tab. XV. Fig. 150. Quodsi in situ pontis horizontalis AI longitudo funis IC = CE = CN = *a* & præterea *b* = *a*, vel *b* > *a*; tota curvæ portio CMN sufficit; si vero CI < CN, & in situ horizontali pondus jam fuerit in M, satisfacit portio MN, quoniam tum CM est differentia inter CN & CI.

Si sit CI = *c*, reliqua sint ut ante,* erit

$$CM = 2a - 2bz : a = a - c$$

$$a + c = 2bz : a$$

$$(a^2 + ac) : 2b = z$$

Punctum adeo M determinatur, si fiat CG = $(a^2 + ac) : 2b$, quæ est quarta proportionalis ad $2b$, a & $a + c$, hoc est, ad duplam lineam, quæ pondus M exprimit, radium circuli CE seu funis integri longitudinem ob IC + CM = CE & compositam ex radio & portione funis IC.

Tab. XV. Fig. 151. n. 1. Sit $C = 0$

erit $2a - 2bz : a = 0$

$$a^2 = bz = 0$$

$$a^2 : b = z$$

Habemus itaque $b : a = a : z$. Quare si $b = a$; erit $a = z$, adeoque punctum D cadit in E, consequenter diameter FE curvam in centro C tangit.

Si $b > a$, etiam $a > z$ (§. 149. *Arithm.*), recta igitur CD definiens n. 2.
punctum curvæ C adhuc in peripheriam EN cadit, consequenter curva ultra centrum continuari potest, adeoque in centro C axem FE secat.

Quando itaque CD coincidit in E, erit $z = a$, adeoque cum sit

$$x = z . CM : a$$

$$= z\sqrt{(x^2 + y^2)} : a$$

$$= \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

$$x^2 = x^2 + y^2$$

$$y = 0$$

Curva ergo ultra centrum continuata axem secat in K. Quare cum ex constructione appareat, ab altera parte describi posse partem similem, curva in centro C nodum habet.

Si in æquatione ad curvam

$$a^2x^2 + a^2y^2 = b^2x^2 + bx^3 + \tfrac{1}{4}x^4 + bxy^2 + \tfrac{1}{2}x^2y^2 + \tfrac{1}{4}y^4$$

fiat $y = 0$

erit $a^2x^2 = b^2x^2 + \tfrac{1}{4}x^4 + bx^3$

$$a^2 = b^2 + \tfrac{1}{4}x^2 + bx$$

$$a = b + \tfrac{1}{2}x$$

$$2a = 2b + x$$

Quan-

Digitized by Google

Quando itaque $b > a$; erit

$$-x = 2b - 2a$$

Unde intelligitur, punctum K a centro distare intervallo $2b - 2a$.

Tab. XV. Fig. 151. n. 3. Si vero fuerit $a > b$; erit

$$x = 2a - 2b$$

Ex quo apparet, curvam secare axem infra centrum C in L, ita ut CL sit $2a - 2b$.

Quodsi in æquatione in curvam valor ipsius x sumatur negativus & ponatur $y = 0$, prodibit distantia puncti F a centro C, ubi axem secat. Nimirum cum ob $y = 0$; sit

$$a^2 = b^2 + bx + \tfrac{1}{4}x^2$$

erit ob valorem ipsius x negativum

$$a^2 = b^2 - bx + \tfrac{1}{4}x^2$$

$$a = \tfrac{1}{2}x - b$$

$$2a + 2b = x = CF$$

Curva igitur in omni casu in se redit.

Quodsi maxima curvæ latitudo determinanda, cum sit

$$\frac{aydy - ydy = bdx + xdx - axdx}{\surd(x^2+y^2) \qquad\qquad \surd(x^2+y^2)}$$

erit ob $dy = 0$ (§. 63. *Anal. infin.*)

$$\frac{bdx + xdx - axdx}{\surd(x^2+y^2)} = 0$$

$$(b+x)\surd(x^2+y^2) = ax$$

$$\surd(x^2+y^2) = \frac{ax}{b+x} = CM$$

Ut igitur CM in casu maximi inveniri possit, valor ejus, quem supra reperimus $= 2a - 2bz : a$, exprimatur etiam hic per z. ita ut pro x substituatur valor ipsius per z expressus. Est vero juxta superiora $CM = ax : z$. Quare cum hic sit $CM = ax : (b+x)$; erit

$$z = b + x$$

$$z - b = x$$

$$CM = \frac{ax}{z} = \frac{ax - ab}{z}$$

Habemus itaque

$$\frac{az - ac}{z} = 2a - \frac{2bz}{a}$$

$$a^2z - a^2b = 2a^2z - 2bz^2$$

$$2bz^2 - a^2z = a^2b$$

$$z^2 - \frac{a^2z}{2b} = \tfrac{1}{2}a^2 \quad (: 2b)$$

$$z^2 - \frac{a^2z}{2b} + \frac{a^4}{16b^2} = \frac{a^4}{16b^2} + \tfrac{1}{2}a^2$$

$$= \frac{a^4 + 8a^2b^2}{16b^2}$$

$$z - \frac{a^2}{4b} = \frac{a}{4b}\surd(a^2 + 8b^2)$$

$a - z^2$

Digitized by Google

$$\frac{a^2}{4b} - z =$$

$$z = \frac{a^2 \pm \sqrt{(a^2 + 8b^2)}}{4b}$$

Quodsi $a = b$, erit $z = \frac{a^2 \pm \sqrt{(a^2 + 8a^2)}}{4a}$

$$= \tfrac{1}{4}a \pm \tfrac{3}{4}a$$

Tab. XV. Fig. 151. Quando in hoc casu $z = \frac{1}{4}a + \frac{3}{4}a = a$, cum sit $a =$ CE, curva axem in centro tangit juxta superiora. Ergo in casu maximi satisfacit radix falsa, nempe $z = \frac{1}{4}a - \frac{3}{4}a = -\frac{1}{2}a$: quod indicio est, valorem ipsius z sumi debere ex altera parte, nempe versus F in recta CF.

Quando $b > a$, curva KCNO duplicem habet maximam semiordinatam, alteram nempe infra centrum, alteram supra idem, adeoque radix utraque servit, affirmativa infra centrum; negativa supra idem.

In casu denique tertio, ubi $a > b$, radix positiva est major radio. Sed cum $z =$ CG radio CE major fieri nequeat, *vi construct.* radix negativa hic itidem locum habet: id quod denuo innuit, maximam applicatam cadere ultra centrum versus F.

SCHOLION.

372. *Illud hic notatu dignum est, quod pro diversa relatione quantitatum constantium* a *&* b, *quæ æquationem ingrediuntur, curvæ ductus admodum variet, ita ut oculorum judicio pro curvis non haberentur, quæ per eandem æquationem definiuntur.*

THEOREMA 51.

373. *Si circulus* X *super alio æquali* Y *rotetur, ita ut punctum rotationis vel sit in ipsa peripheria, vel extra eam, vel intra peripheriam circuli rotantis; curva hoc puncto descripta erit curva æquilibrationis.* Tab. XV. Fig. 152.

DEMONSTRATIO.

Sit punctum rotationis extra peripheriam, veluti in M, & initium rotationis in V, ita ut initio punctum O cadat in V. Dico curvam CMN, quæ hac rotatione describitur, esse curvam æquilibrationis. Ducatur recta RS, quæ centra circulorum Y & X connectit & recta SM, in qua est punctum describens M, producatur, donec radio RV per initium rotationis V continuato in H occurrat. Quoniam arcus TV & TO, mensuræ angulorum R & S (§. 57. *Geom.*), æquales sunt per genesin curvæ CMN; erit RH=HS (§. 253. *Geom.*). Fiat RC=SM & ex centro C radio CQ=RV=SO describatur circulus & ex C per M ducatur radius

CD, ex puncto vero N demittatur perpendicularis GN, quemadmodum in constructione curvæ æquilibrationis fecimus (§. 371.). Fiat porro ut ibidem RV=OS=CN=RT=TS=a, SM=RC=b, CG=z. Quoniam RH=HS *per demonstr.* & RC=SM *per constr.* erit etiam CH=HM (§. 91. *Arithm.*), adeoque HC : HM=HR : HS, consequenter angulus GCN = HRT (§. 183. *Geom.*). Quare cum porro ob RT=TS & HR=HS angulus ad T rectus sit (§ 179. 147. *Geom.*) & ad G itidem rectus *per constr.* erit (§. 267. *Geom.*).

$$CG : CN = RT : RH$$
$$z : a = a :$$

Est itaque RH=$a^2 : z$, adeoque CH=RH−RC=$\frac{a^2}{z} - b$.

Porro ob ang. HCD=ang. HRS *per demonstrata;* erit CM ipsi RS parallela (§. 255. *Geom.*), adeoque (§. 268. *Geom.*).

$$HR : RS = HC : CM$$
$$\frac{a^2}{z} : 2a = \frac{a^2}{z} - b :$$

sive $a^2 : 2a = a^2 - bz :$

Ergo CM=$\frac{2a^3 - 2abz}{a^2}$

$= 2a - \frac{2bz}{a}$

Est itaque punctum M in curva æquilibrationis, consequenter curva rotatione circuli X super circulo Y puncto M descripta curva æquilibrationis (§. 371.).

Idem eodem modo ostenditur in iis casibus, ubi punctum describens O fuerit in peripheria, vel punctum describens K fuerit intra peripheriam circuli.

PROBLEMA 56.

374. *Data curva* AB *invenire curvam aliam* LM, *super qua in quocunque puncto pondus* M *datum sit in æquilibrio cum pondere alio* B *dato.* Tab. XV. Fig. 151.

RESOLUTIO
ET
DEMONSTRATIO.

Ducatur recta KO rectam CH ad angulos rectos secans. Quoniam CH est linea verticalis *per hypoth.* erit KO linea horizontalis (§. 210.). Demittantur perpendiculares BK & ME in lineam horizontalem KO ex punctis curvarum B & M, in quibus pondera æquilibrata constituuntur, quæ dicantur B & M; erit I centrum gravitatis ponderum constans commune (§. 124.). Quare B : M=EI : IK (§. 144.). Est vero ob K & E rectos (§. 78 *Geom.*) & verticales ad I æquales (§ 156. *Geom.*), ME : KB=EI : IK (§. 267. *Geom.*). Quare B : M=ME : KB (§. 167. *Arithm.*). Demittantur

ex

ex M & B perpendiculares ad CH, nempe PM & BH; erit EM = IP & KB = IH (§. *226. Geom.*), adeoque B : M = IP : IH (§. *167. Arithm.*). Quare si per hanc analogiam reperiatur recta IP, datis ponderibus & recta IH (§. *271. Geom.*), & ducta PS ad CI perpendicularis portione funis CM tanquam radio ex puncto C intersecetur; erit in M punctum curvæ æquilibrationis quæsitum.

Quodsi æquatio ad curvam AB detur, facile reperiri potest æquatio ad curvam æquilibrationis per communes Algebræ regulas.

CAPUT IX.

DE

MOTU PENDULORUM.

DEFINITIO 43.

376. *Pendulum* est grave quodlibet, ita suspensum, ut circa punctum aliquod vi gravitatis ascensus & descensus reciprocos continuare possit. Ascensus ille & descensus reciprocus *Oscillatio* penduli vocatur.

DEFINITIO 44.

Tab. III. Fig. 44. 377. *Pendulum simplex* est quod constat unico pondere instar puncti considerato & linea inflexili gravitatis experte circa centrum C convertibili AC appenso.

DEFINITIO 45.

378. *Pendulum compositum* est quod pluribus ponderibus constat, eandem distantiam tum inter se, tum a centro, circa quod oscillationes fiunt, constanter servantibus.

DEFINITIO 46.

379. *Axis oscillationis* est recta lineæ horizontali apparenti parallela transiens per centrum, circa quod pendulum oscillatur.

THEOREMA 52.

380. *Pendulum in* B *adductum per arcum circuli* BA *descendit & ad punctum æque altum* D *per arcum æqualem ascendit, inde denuo in* A *descendit ac ad* B *ascendit, sicque reciprocos ascensus & descensus continuat.* Tab. III. Fig. 44.

DEMONSTRATIO.

Sit HI linea horizontalis & BD ipsi parallela. Si globus A, quem instar puncti consideramus, cum solius gravitatis ratio hic habeatur (§. 377.), in B adducitur, linea directionis BH, utpote ex centro gravitatis B ad lineam horizontalem HI perpendicularis, cadit ex-

tra basin, quæ est in puncto C. Globus igitur in hoc situ quiescere nequit, sed descendit (§. 222.). Cum autem filo BC retineatur, ne perpendiculariter per BH descendere possit, per arcum circuli BA descendit (§. 131. *Geom.*). Ubi centrum gravitatis ad imum pervenit, ea vi globus instruitur, quæ cadendo per KA acquiritur (§. 303.) adeoque ipsum ad altitudinem æqualem elevare potest (§. 322.). Quare cum filum impediat, ne juxta tangentem AI progrediatur, per arcum AD ipsi AB æqualem (§ 291 *Geom.*) ascendit. Vi igitur, quam cadendo acquisiverat, omni absorpta per eundem arcum AD relabitur vi gravitatis ascensurus ex A in B & ita porro. *Q. e. d.*

SCHOLION.

381. *Experientia theoremati non contradicit, etsi sine fine continuatæ oscillationes ei parum respondeant. Aeris enim resistentia & frictio circa centrum* C *partem aliquam ejus absumunt, quæ cadendo acquisita fuerat: unde fieri nequit, ut ad eandem præcise altitudinem elevetur globus, ex qua delapsus. Quoniam itaque ascensus continua capit decrementa, oscillatio tandem sistitur & pendulum in situ* CA, *in quo centrum gravitatis infimum occupat locum, quiescit.*

THEOREMA 53.

Tab. IV. 382. *Si pendulum simplex inter duas semicycloides* CB *&* CD *suspendatur, quarum circuli generatores habent diametrum* CF *dimidiæ longitudini fili* CA *æqualem, ita ut filum oscillantis iis circumplicetur; oscillationes omnes utcunque inæquales erunt isochronæ seu æquidiuturnæ in medio non resistente.* Fig. 45.

DEMONSTRATIO.

Cum enim penduli filum CE semicycloidi BC circumplicetur, a centro gravitatis globi E, qui instar puncti consideratur (§. 377.), ex evolutione cyclois BEAD describitur (§. 330. *Anal. infinit.*). Sed omnes descensus & ascensus in cycloide sunt æquidiuturni (§. 311.). Ergo oscillationes penduli sunt æquidiuturnæ (§. 376.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

383. Quodsi longitudine penduli CA describatur circulus ex centro C, cum portio cycloidis prope verticem A eodem fere motu describatur, arcus exiguus circuli cum cycloide propemodum coincidit. Unde in arcubus circuli exiguis oscillationes pendulorum sunt ad sensum isochronæ, utcunque in se inæquales.

COROLLARIUM 2.

384. Quo longiora itaque sunt pendula in arcubus circuli oscillantia; eo majores oscillationes isochronæ sunt.

SCHOLION 1.

385. *Experientia non abludit. Quodsi enim duo fuerint pendula ejusdem longitudinis,*

tudinis, quorum unum in majorem, alterum in minorem arcum, utrumque tamen in arcum non nimis magnum, oscillando excurrat; in oscillationibus centum vix aliquam differentiam notabis.

SCHOLION 2.

386. *Penduli inter duas semicycloides oscillantis tam theoria, quam praxis debetur illustri* Hugenio (z).

PROBLEMA 55.

387. *Determinare durationem oscillationis in Cycloide.*

RESOLUTIO.

Tab. IV. Fig. 46. Sit diameter circuli genitoris seu altitudo totius Cycloidis AB $= a$; HB altitudo, ex qua descendit pendulum per arcum illius QB $= 2r$, HP $= x$, erit PB $= 2r - x$. Sit porro tempus per QB $= t$ & super HB describatur semicirculus HNB ducanturque PM atque pm infinite propinquæ ad HB perpendiculares: erit PN $= \sqrt{(2rx - xx)}$, Pp $=$ NO $=$ Rm $= dx$, & celeritas in P, adeoque & in M (§. 303.), acquisita $= \sqrt{x}$ (§. 83.), consequenter, cum infinitesima Mm motu uniformi percurratur, tempus per Mm $= dt$ $=$ Mm $: \sqrt{x}$ (§. 39.). Constat vero (§. 131. *Analys. infinit.*) esse Mm : mR $=$ BS : BP & AB : BS $=$ BS : BP (§. 330. *Geom.*). Est itaque BS ad BP in ratione subduplicata AB ad BP (§. 216. *Arithm*), hoc est, ut $\sqrt{}$ AB ad $\sqrt{}$ PB, consequenter Mm : mR $= \sqrt{}$AB : $\sqrt{}$PB (§. 167. *Arithm.*). Unde Mm $=$ mR . $\sqrt{}$AB : $\sqrt{}$PB & $dt = dx\sqrt{a} : \sqrt{(2rx - x^2)} = 2rdx\sqrt{a} : 2r\sqrt{(2rx - x^2)}$. Est vero $rdx : \sqrt{(2rx - xx)} =$ Nn (§. 157. *Anal. infin.*). Ergo $dt = 2\sqrt{a}$. Nn $: 2r$ & $\int dt = \int$Nn. $2\sqrt{a} : 2r$. Jam quando $\int dt$ sive t tempus denotat, quo grave per arcum cycloidis BQ descendit, $\int$Nn in semiperipheriam circuli degenerat. Quare ut $2r$ seu diameter circuli ad semiperipheriam ejus, ita $2\sqrt{a}$ ad tempus per arcum BQ, consequenter cum $2\sqrt{a} = 2a : \sqrt{a}$ denotet tempus descensus perpendicularis per BA (§. 39. 83. 92.); patet tandem (§. 168. *Arithm.*) sequens

Theorema: Tempus integræ oscillationis per arcum quemcunque Cycloidis GDQ est ad tempus descensus perpendicularis per diametrum circuli genitoris AD ut peripheria circuli ad diametrum. Tab. III. Fig. 39.

COROLLARIUM.

388. Hinc denuo consequitur, quod jam superius aliunde demonstratum (§ 311), tempus descensus per quoslibet arcus cycloidis esse æquidiuturnum, oscillationes item in omnibus arcubus cycloidis esse æquidiuturnas.

(z) Vide Horologium Oscillatorium sive demonstrationes de motu pendulorum ad horologia aptato geometricas.

Digitized by Google

THEOREMA 53.

389. *Gravitatis actio minor est in iis terræ regionibus, ubi oscillationes ejusdem penduli sunt tardiores; major vero, ubi eædem celeriores.*

DEMONSTRATIO.

Tempus oscillationum in cycloide est ad tempus descensus perpenpicularis per diametrum circuli genitoris ut peripheria circuli ad diametrum (§. 387.), ideoque in ratione constante (§. 413. *Arithm.*). Quare si oscillatio ejusdem penduli fit tardior, descensus quoque gravium perpendicularis tardior evadit: si ille redditur celerior; hic quoque celerior fit necesse est. In primo igitur casu minus spatium cadendo conficit grave, quam in altero, adeoque in illo motus minori vi acceleratur, quam in altero, consequenter gravitas minor est. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

390. Cum itaque experientia docuerit, oscillationes ejusdem penduli esse tardiores prope æquatorem, quam in remotioribus versus polum regionibus; gravitas corporum minor est versus æquatorem, quam versus polos.

SCHOLION.

391. *Observavit hoc primus* Richerius A. 1672. *itinere in insulam* Cayennæ, *quæ ab æquatore 5 fere gradibus distat, facto, ubi pendulum Parisiense singulis minutis secundis oscillans, cujus longitudo erat pedum 3, linearum 8 $\frac{3}{5}$, minuenda erat linea una cum quadrante, ut adhuc oscillationes singulis minutis secundis absolveret* (a) A. 1677 Hallejus *ad insulam* S. Helenæ *navigans reperit horologium suum ibi tardius moveri, quam Londini, sed differentiam non notavit. Similes observationes habuere* A. 1682. Varin & des Hayes A. 1697. Couplet *filius* & A. 1704. Feuillée (b).

THEOREMA 57.

392. *Si duo pendula* CA *&* EF *in arcus similes* DAB *&* GFH *excurrant; tempora oscillationum sunt in ratione subduplicata longitudinum* CA *&* EF. Tab. III. Fig. 47.

DEMONSTRATIO.

Tempus descensus per DA est ad tempus descensus per GF in ratione subduplicata DA ad GF (§. 316.). Sed tempora ista sunt oscillationum per arcus DB & GH dimidia. Ergo & tempora oscillationum sunt in ratione subduplicata arcuum DA & GF (§. 178. *Arithm.*), consequenter & radiorum CA & EF, quibus arcus similes DA & GF *per hypoth.* describuntur (§. 412. *Geom.* & 170. *Arithm.*). *Q. e. d.*

CO-

(a) Vid. Acta Eruditorum A. 1695. p. 30.
(b) Vid. *Newtonus* in Principiis lib. 3. prop. 19. p. m. 419.

Digitized by Google

COROLLARIUM.

393. Longitudines igitur pendulorum in arcus similes DA & GF excurrentium sunt in ratione duplicata temporum, quibus singulæ oscillationes conficiuntur.

THEOREMA 57.

394. *Numeri oscillationum isochronarum a duobus pendulis eodem tempore confectarum sunt reciproce ut tempora, quibus singulæ oscillationes fiunt.*

DEMONSTRATIO.

Sit intra tempus *a* numerus oscillationum penduli unius $= b$, alterius $= mb$. Cum oscillationes singulæ ejusdem penduli supponantur æquidiuturnæ, erit tempus, quo pendulum primum oscillationem unam conficit, $= a : b$, & tempus, quo alterum oscillationem unam absolvit, $= a : mb$ (§. 302. *Arithm*). Sunt ergo tempora, quibus singulæ oscillationes fiunt, ut $a : b$ ad $a : mb$, hoc est, ut *amb* ad *ab* (§. 178. *Arithm.*) seu ut *mb* ad *b* (§. 181. *Arithm.*). Sed ut *mb* ad *b* ita est numerus oscillationum penduli secundi ad primum. Sunt itaque numeri oscillationum eodem tempore confectarum reciproce ut tempora singularum. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

395. Longitudines igitur pendulorum in arcus similes, eosque parvos excurrentium sunt in ratione duplicata numerorum oscillationum eodem tempore confectarum, sed reciproce sumtorum (§. 393.).

THEOREMA 58.

396. *Longitudines pendulorum intra cycloides suspensorum sunt in ratione duplicata temporum, quibus singulæ oscillationes fiunt.*

DEMONSTRATIO.

Ut diameter circuli ad peripheriam ita tempus descensus per altitudinem cycloidis seu dimidiam penduli longitudinem ad tempus unius oscillationis (§. 387.). Sunt igitur tempora descensus per duorum pendulorum dimidias longitudines ut tempora duarum oscillationum ab iisdem confectarum (§. 167. 173. *Arithm.*). Sed altitudines descensus perpendicularis sunt in ratione duplicata temporum (§. 86.). Ergo etiam altitudines, hoc est, pendulorum longitudines dimidiæ, consequenter & integræ (§ 178. *Arithm.*), sunt in ratione duplicata temporum, quibus oscillationes per cycloides absolvuntur (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

397. Sunt igitur & in ratione duplicata numerorum oscillationum eodem tempore confectarum, sed reciproce sumtorum (§. 394.).

CO-

COROLLARIUM 2.

398. Tempora oscillationum in cycloidibus diversis sunt in ratione subduplicata longitudinis pendulorum.

PROBLEMA 56.

399 *Data longitudine alicujus penduli, una cum numero oscillationum in tempore dato confectarum, invenire longitudinem alterius penduli, quod eodem tempore datum oscillationum numerum conficiat.*

RESOLUTIO.

Quæratur ad quadratum numeri oscillationum, quas in tempore dato absolvere debet pendulum quæsitum, ad quadratum numeri oscillationum penduli dati & longitudinem penduli dati numerus quartus proportionalis; erit is longitudo penduli quæsita (§. 397.).

E. gr. Juxta *Hugenium* (c) longitudo penduli, cujus oscillationes singulæ singulis minutis secundis absolvuntur, est pedum Parisinorum 3 & linearum $8\frac{1}{2}$. Quæritur pendulum, quod intra minutum primum 200 oscillationes conficiat. Cum numerus oscillationum penduli dati sit intra minutum primum 60 & ejus longitudo 881 linearum dimidiarum (*§. 26. Geom.*); erit longitudo penduli quæsiti $= 3600 . 881 : 40000 = 79\frac{29}{100}$ lin. dim. seu $39\frac{79}{100}$ lin.

PROBLEMA 57.

400. *Dato numero oscillationum, quæ a pendulo datæ longitudinis in dato tempore absolvuntur, invenire numerum oscillationum ab alio pendulo datæ itidem longitudinis in dato tempore conficiendarum.*

RESOLUTIO.

1. Quæratur numerus quartus proportionalis ad longitudines pendulorum inverse sumtas & quadratum numeri oscillationum quæsiti (§. 397.).
2. Quare si inde extrahatur radix, habebitur numerus oscillationum quæsitus.

E. gr. Quæritur, quot oscillationes intra minutum primum absolvat pendulum, cujus longitudo est 7929 istiusmodi partium, qualium pendulum singulis minutis secundis oscillans est 88100. Reperietur numerus oscillationum $= \sqrt{(88100 . 3600 : 7929)} = \sqrt{40000} = 200$.

THEOREMA 40.

401. *Celeritas penduli in puncto infimo* B *est ad celeritatem cadendo per* AB *duplam longitudinem penduli acquisitam ut chorda arcus, quem descricit,* CB *ad diametrum circuli* AB. Tab. III. Fig. 36.

DEMONSTRATIO.

Celeritas per arcum CB acquisita æquatur celeritati per GB acquisitæ (§. 255.). Est ergo ad celeritatem per AB acquisitam in ratione

(c) In Horolog. Oscillat. part. 4. prop. 25. f. 152.

Digitized by Google

tione subduplicata BG ad BA (§. 87.). Sed BA:BC=BC:BG (§ *330. Geom.*), ideoque BA ad BC est ratio subduplicata BA ad BG (§. *216. 159. Arithm.*). Ergo celeritas per arcum BC est ad celeritatem per BA acquisitam ut chorda BC ad BA (§ *167. Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

402. Cum adeo sit ut celeritas per arcum CB acquisita ad celeritatem per AB acquisitam ut chorda CB ad AB & ut celeritas per arcum FB acquisita ad celeritatem per AB acquisitam, ut chorda FB ad AB (§. 401.); celeritates per arcus CB & FB acquisitæ sunt ut chordæ cognomines (§. *195. Arithm.*).

SCHOLION.

403. *Alia adhuc theoremata non inelegantia de pendulis habet* Newtonus (d): *quæ analytice facillime demonstrantur ex superioribus. Eum igitur in finem sequens addimus problema.*

PROBLEMA 60.

404. *Determinare tempus oscillationis dimidiæ per arcum exiguum in hypothesi gravitatis uniformis, sed massæ minime proportionalis.*

RESOLUTIO.

Tab. XVI. Fig. 154. Sit in C centrum, circa quod pendulum oscillatur. Sint NA & MA arcus exigui, per quos oscillatur, seu oscillationes dimidiæ. Sit BA dupla penduli longitudo & BNA semicirculus ex centro C descriptus; dicatur

$CA = a$, $AP = x$

$AQ = b$

erit $AB = 2a$

$QP = b - x$

& (§. *330. Geom.*)

$AB : AN = AN : AQ$

$2a : AN = AN : b$

$AB : AM = AM : AP$

$2a : AM = AM : x$

adeoque

$AM = \sqrt{2ax}$ $AN = \sqrt{2ab}$

Quoniam arcus AM & AN admodum exigui; ab arcubus non different notabiliter subtensæ cognomines. Quare etiam arcus $AM = \sqrt{2ax}$ & arcus $AN = \sqrt{2ab}$, consequenter $NM = AN - AM = \sqrt{2ab} - \sqrt{2ax}$, cujus differentiale nM reperitur $= -\frac{1}{2} x^{-1:2} dx \sqrt{2a} = -dx\sqrt{a} : \sqrt{2x}$.

Sit porro gravitas $= g$, massa $= m$. Quoniam gravitas uniformis seu constans *per hypoth.* erit celeritas in n utpote cadendo per altitudinem $QP = b - x$ acquisita $= \sqrt{2g(b-x)} : \sqrt{m}$ (§. 113.).

Quoniam motus per arculum infinite parvum nM æquabilis, erit

(d) In Princip. Phil. nat. mathem. lib. 2. prop. 24. & ej. coroll. p. m. 294 & seqq.

Digitized by Google

erit tempusculum dt directe ut spatium seu arculus nM & reciproce ut celeritas in n acquisita (§. 39.), consequenter

$$dt = \frac{nM}{\text{Cel. per NM}} = -\frac{dx\sqrt{am}}{2\sqrt{(gbx - gx^2)}}$$

$$t = \int -\frac{dx\sqrt{am}}{2\sqrt{(gbx - gx^2)}}$$

Est vero $-bdx : 2\sqrt{(bx - x^2)}$ elementum arcus QR, radio $\frac{1}{2}b = \frac{1}{2}$ AQ descripti, cujus sagitta QP $= b - x$, ob valorem negativum (§. 157. *Anal. infin.*). Ergo $-dx : \sqrt{(bx - x^2)}$ = elemento arcus AR per $\frac{1}{2}$AQ diviso. Fiat itaque

$$\frac{-bdx}{2\sqrt{(bx - x^2)}} = dz$$

erit

$$\frac{-dx}{\sqrt{(bx - x^2)}} = \frac{dz}{b}$$

adeoque

$$dt = -\frac{dx\sqrt{am}}{2\sqrt{(gbx - gx^2)}} = \frac{dz\sqrt{am}}{b\sqrt{g}}$$

$$t = \frac{z\sqrt{am}}{b\sqrt{g}} = \frac{\text{arc. QR}.\sqrt{\text{AC}}.\sqrt{m}}{\text{AQ}.\sqrt{g}}$$

Quodsi jam fiat QP = QA, arcus QR degenerabit in semiperipheriam QRA, eritque t tempus dimidiæ oscillationis, hoc est, descensus per arcum NA absolvitur tempore $t = \frac{\text{QRA}.\sqrt{\text{AC}}.\sqrt{m}}{\text{AQ}.\sqrt{g}}$

Patet, QRA : AQ designare rationem peripheriæ ad diametrum, & $\sqrt{\text{AC}}$ esse ut tempus descensus perpendicularis per AC seu altitudinem longitudini penduli æqualem (§. 87.). Quare si fuerit g ut m, seu gravitas massæ proportionalis, quemadmodum in hypothesi *Galilæana* (§. 115.), erunt

Theorema: Oscillationes dimidiæ pendulorum in arcubus exiguis circularibus ad tempus descensus perpendicularis ponderis appensi per altitudinem longitudini penduli æqualem seu circuli radium, ut semiperipheria circuli ad diametrum, seu oscillationes integræ sunt ad tempus descensus perpendicularis per radium ut peripheria circuli ad diametrum.

THEOREMA 59.

405. *Tempora sunt in ratione composita ex directis subduplicatis longitudinem pendulorum & massarum atque reciproca subduplicata gravitatum uniformium.*

DEMONSTRATIO.

Sint longitudines pendulorum L & l, tempora oscillationum T &

Digitized by Google

& t, massæ M & m, gravitates G & g; erit $T = \frac{QRA}{AQ} \cdot \frac{\sqrt{M.L}}{\sqrt{G}}$ & $t = \frac{QRA. \sqrt{m.\, l}}{AQ. \sqrt{g}}$ (§. 404.), adeoque

$$T:t = \frac{QRA}{AQ.} \cdot \frac{\sqrt{M.L}}{\sqrt{G}} : \frac{QRA}{AQ.} \cdot \frac{\sqrt{m.l}}{\sqrt{g}}$$

$$= \frac{\sqrt{M.L}}{\sqrt{G}} : \frac{\sqrt{m.l}}{\sqrt{g}} \text{ (§. 181. Arith.)}$$

$$= \sqrt{M}.\sqrt{L}.\sqrt{g} : \sqrt{m}.\sqrt{l}.\sqrt{G}$$

(§. 178. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 60.

406. *Quantitates materiæ in corporibus funependulis, quorum longitudines æquales sunt, sunt in ratione composita ex ratione gravitatum & ratione duplicata temporum.*

DEMONSTRATIO.

Sint omnia ut in theoremate præcedente, erit

$$T:t = \frac{\sqrt{ML}}{\sqrt{G}} : \frac{\sqrt{ml}}{\sqrt{g}}$$

adeoque $T^2 : t^2 = \frac{ML}{G} : \frac{ml}{g}$ (§. 260. *Arithm.*).

Et hinc $T^2G : t^2g = ML : ml$ (§. 184. *Arithm.*).

Quare cum sit $L = l$ *per hypoth.* erit $T^2G : t^2g = M : m$ (§. 183. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

407. Quodsi fuerit $T = t$; erit $G : g = M : m$, hoc est, si tempora æqualia, quantitates materiæ sive massæ sunt ut gravitates.

COROLLARIUM 2.

408. Quodsi fuerit $G = g$, erit $T^2 : t^2 = M : m$ (§. 181. *Arithm.*), hoc est, si gravitates sunt æquales, massæ sunt in ratione duplicata temporum.

COROLLARIUM 3.

409. Quodsi fuerit $M = m$; erit $T^2G = t^2g$ (§. 151. *Arithm.*), adeoque $G : g = t^2 : T^2$ (§. 199. *Arithm.*), hoc est, si massæ sunt æquales, gravitates sunt in ratione duplicata reciproca temporum.

COROLLARIUM 4.

410. Quoniam $T^2G : t^2g = ML : ml$, *ut demonstr. præf.* si sit $T = t$ & $M = m$, erit $G : g = L : l$ (§. 151. *Arithm.*), hoc est, si & tempora, & massæ æqualia sunt, pondera sunt ut longitudines pendulorum.

COROLLARIUM 5.

411. Et quia $T^2G : t^2g = ML : ml$; erit etiam $T^2Gl : t^2gL = M : m$ (§. 185. 178. *Arithm.*), hoc est, massæ pendulæ sunt ut quadrata temporum & gravitates directe, & ut longitudines pendulorum inverse.

SCHOLION 1.

412. *His principiis usus est* Newtonus

nus (e) *in comparandis corporibus inter se quoad quantitatem materiæ in singulis. Factis autem experimentis quam accuratissimis se semper invenisse fatetur, quantitatem materiæ in corporibus singulis eorum ponderi proportionalem esse. Hinc etiam pendet ratio comparandi pondera ejusdem corporis in diversis locis ad cognoscendam variationem gravitatis.*

COROLLARIUM 6.

413. Quodsi fuerit $M = m$, erit $T^2 Gl = t^2 gL$ (§. 149. *Arithm.*) consequenter $T^2 : t^2 = gL : Gl$ (§. 299. *Arithm.*), adeoque $T : t = \sqrt{g} . \sqrt{L} : \sqrt{G} . \sqrt{l}$ (§. 260. *Arithm.*), hoc est, si massæ funependulorum fuerint æquales, tempora sunt in ratione composita ex directa subduplicata longitudinum pendulorum & reciproca subduplicata gravitatum.

COROLLARIUM 7.

414. Quodsi fuerit $M = m$ & $T = t$, erit $gL = Gl$ (§. *præc.*), consequenter $G : g = L : l$, hoc est, pendula isochrona habent gravitates seu vires acceleratrices longitudinibus pendulorum proportionales.

COROLLARIUM 8.

415. Quodsi fuerit $M = m$ & $L = l$, erit $T^2 G = t^2 g$ (§. 413.), consequenter $T^2 : t^2 = g : G$ (§. 299. *Arithm.*), adeoque $T : t = \sqrt{g} : \sqrt{G}$ (§. 260. *Arithm.*), hoc est, si massæ & longitudines funependulorum fuerint æquales, tempora sunt in ratione subduplicata reciproca gravitatum.

COROLLARIUM 9.

416. Quodsi fuerit $M = m$ & $G = g$, erit $T^2 l = t^2 L$ (§. 413.), consequenter $T^2 : t^2 = L : l$, adeoque $T : t = \sqrt{L} : \sqrt{l}$, hoc est, si gravitates acceleratrices & massæ funependulorum fuerint æquales, tempora sunt in ratione subduplicata longitudinum.

SCHOLION 2.

417. *Cum in pendulis vis ponderis, quæ sollicitat, in uno puncto concentrata concipiatur* (§. 125.), *neque massa per se, nisi quatenus a causa gravitatis animatur, ad motum aliquid conferat, si pondera massis proportionalia sunt, adeoque æquales quautitates materiæ seu massæ æquales a gravibus eodem modo animentur; nulla habetur massarum ratio. Perinde igitur est in hoc casu, ac si in omnibus pendulis massæ essent æquales. Unde in hac naturæ consentanea hypothesi valent, quæ in casu massarum æqualium demonstravimus.*

THEOREMA 61.

418. *Numeri oscillationum duorum pendulorum quorumcunque in arcubus exiguis æqualibus temporibus absolutarum sunt in ratione composita ex reciprocis subduplicatis massarum & longitudinum, atque directa subduplicata gravitatum massas animantium.*

DEMONSTRATIO.

Sunt enim numeri oscillationum N & *n* a duobus pendulis æqualibus temporibus absolutarum reciproce ut tempora, quibus

(e) Vid. Princip. lib. 2. prop. 24. Cor. 7. p. m. 295.

Digitized by Google

bus singulæ oscillationes fiunt (§. 394.). Enimvero tempora oscillationum sunt in ratione composita ex rationibus subduplicatis directis massarum & longitudinum pendulorum & subduplicata reciproca massas animantium gravitatum, seu ut $\sqrt{L}.\sqrt{M}.\sqrt{g}$ ad $\sqrt{l}.\sqrt{m}.\sqrt{G}$ (§. 405.). Quare numeri oscillationum a duobus pendulis æqualibus temporibus absolutarum sunt in ratione composita ex reciprocis subduplicatis massarum & longitudinum & directa subduplicata gravitatum massas animantium, seu $N : n = \sqrt{l}.\sqrt{m}.\sqrt{G} : \sqrt{L}.\sqrt{M}.\sqrt{g}$. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

419 Quodsi fuerit $m = M$, erit $N : n = \sqrt{l}.\sqrt{G} : \sqrt{L}.\sqrt{g}$, hoc est, si massæ duorum pendulorum fuerint æquales, numeri oscillationum eodem tempore in arcubus exiguis absolutarum sunt in ratione composita ex subduplicata reciproca longitudinum pendulorum & directa subduplicata gravitatum massas animantium.

COROLLARIUM 2.

420. Quodsi fuerit $M = m$ & $L = l$; erit $N : n = \sqrt{G} : \sqrt{g}$, hoc est, multitudines vibrationum, eodem tempore a duobus pendulis æqualibus peractarum, se habent in subduplicata ratione directa virium pendula agitantium.

SCHOLION 1.

421. *Si cui libuerit, is ex analogia* $N : n = \sqrt{G}.\sqrt{l}.\sqrt{m} : \sqrt{g}.\sqrt{L}.\sqrt{M}$ *plura theoremata deducet, quemadmodum supra in simili casu factum.*

SCHOLION 2.

422. *Quæ hactenus de pendulorum motu demonstrata sunt, plerumque tantum succedunt, si filum, ex quo pondus suspenditur, gravitate careat & totius ponderis gravitas in punctum individuum sit coacta: quæ nempe superius supposuimus. Quamobrem in praxi filo utendum est tenui & globo exiguo, sed ex materia quantumvis gravi conflato. Quod si vero filum aut virga sit gravis & pondus magnum; leges modo demonstratæ valde turbantur: neque enim pendulum amplius simplex est, sed compositum, perinde nimirum est, ac si plura pondera eidem virgæ inflexili & gravitatis experti in diversis locis applicarentur, quæ singula diversa celeritate moventur. Enimvero non sufficit, quemadmodum supra in æquiponderantibus, invenire centrum gravitatis commune & in eo applicare ponderum summam, ut verus penduli motus exploretur; sed alia ratione determinandum est illud punctum, in quo colligenda est omnis penduli gravitas, ut eadem præstet cum composito. Eum igitur in finem addimus caput sequens.*

Digitized

CAPUT X.
DE
CENTRO OSCILLATIONIS.

DEFINITIO 47.

423. *Centrum oscillationis* est punctum, in quo si colligatur penduli compositi totius gravitas, oscillationes singulæ eodem adhuc tempore conficiuntur, quo ante.

COROLLARIUM.

424. Ejus itaque a puncto suspensionis distantia æquatur longitudini penduli simplicis, cujus oscillationes sunt cum oscillationibus compositi isochronæ.

DEFINITIO 48.

425. *Pes horarius* est tertia pars longitudinis penduli simplicis, quod singulas oscillationes conficit singulis minutis secundis.

THEOREMA 62.

Tab. IV. Fig. 48. 426. *Si plura pondera* D, F, H, B, *quorum gravitas in punctis* D, F, H, B, *concipitur collecta, in virga inflexili* AB *eandem inter se & a puncto suspensionionis* A *distantiam constanter conservent & circa* A *oscillationes suas perficiat pendulum hoc modo compositum; prodibit distantia centri oscillationis* O *a puncto suspensionis* OA, *si singula pondera in quadrata distantiarum ducantur & aggregatum per summam momentorum eorundem ponderum dividatur.*

DEMONSTRATIO.

Quodsi pendulum celeritate semel acquisita agitaretur, æqualibus temporibus pondera D, F, H, B constanter describerent arcus *d*D, *f*F, *g*H & *b*B distantiis a puncto suspensionis A*d*, A*f*, A*g*, A*b* proportionales. Patet adeo, celeritatem semel acquisitam descensum ponderum non alterare. Sola igitur spectanda est vis gravitatis, quæ incrementa celeritatis efficit. Concipiamus itaque punctum O esse centrum oscillationis. Quando itaque pendulum percurrit angulum infinite parvum BAC; summa ponderum in centro oscillationis O applicata arcum OP describet (§. 423.). Quare cum vis gravitatis eodem modo agat in pondera singula D, F, H, B, quo in summam eorundem O, nisi retinaculum AB obstaret; singula per spatiola ipsi OP æqualia transferrentur, quia motus in instanti est uniformis, adeoque celeritates spa-

ſpatiolis proportionales (§. 33.). Quare ſi KN per P ipſi DB parallela ducatur, DK, FL, HM, BN (cum arcus infinite parvi a chordis eorum non differant) exponent celeritates a ponderibus D, F, H & B in inſtanti acquirendas, ſi libere deſcenderent. Gravitas vero cum ſolo niſu agat (§. 4.), vis mortua eſt (§. 9.); conſequenter vires motuum acceleratrices ſunt in ratione compoſita ponderum & celeritatum (§. 278.). Deperditur itaque in E vis ut D. EK & in F vis ut F. GL: contra vero in H accreſcit vis ut H. MI & in B vis ut B. NC, ſeu quod perinde eſt, ob decrementum virium in D & F vi in P aliquid accreſcit, ſed incrementum in H accremento in P rurſus aliquid detrahit. Cum autem ſit vis in D ad vim in B uti AB ad AD; vis in F ad vim in B uti AB ad AF; vis denique in H ad vim in B uti AB ad HB (§. 153.); reperiuntur accrementa virium in B ut (D. EK. AD): AB & (F. GL. AF): AB, quod vero inde rurſus detrahitur ut (H. MI. AH): AB. Habemus adeo

$$B.NC = (D.EK.AD + F.GL.AF - H.MI.AH):AB.$$

& hinc

$$B.AB.NC + H.MI.AH = D.EK.AD + F.GL.AF$$

Jam cum GL ipſi EK & MI ipſi NC ſit parallela, ob rectos E, G, I, C (§. 38. *Analyſ. infinit.*) & EG = DF, GP = FO, PI = HO, IC = BH; erunt EK & GL ipſis OD & OF, MI & NC ipſis OH & OB proportionales (§. 268. *Geom.*), conſequenter ſubſtitutis pro EK, GL, MI, NC proportionalibus OD, OF, OH, OB.

$$B.AB.OB + H.OH.AH = D.OD.AD + F.OF.AF.$$

Denique cum ſit

$$H.AH^2 = H.HA.HO + H.HA.AO$$

$$B.AB^2 = B.BA.BO + B.BA.AO$$

$$D.OA.DA = D.AD.AD + D.AD.OD$$

$$F.OA.FA = F.FA.FA + F.OF.FA.$$

Si utrinque addantur in æquatione inventa $D.DA^2 + F.FA^2 + H.AO.HA + B.AO.BA$, prodibit

$$D.DA^2 + F.FA^2 + H.AH^2 + B.AB^2 = (D.DA + F.FA + H.HA + B.BA)AO$$

Conſequenter

$$AO = \frac{D.DA^2 + F.FA^2 + H.HA^2 + B.BA^2}{D.DA + F.FA + H.HA + B.BA}$$

Q. e. d.

SCHO-

SCHOLION. 1.

427 *Quodsi non evidens videatur esse* $AB^2 = AB \cdot BO + AB \cdot AO$ *&* $HA^2 = HA \cdot HO + HA \cdot AO$, *itemque* $OA \cdot DA = AD \cdot AD + DA \cdot OD$ *&* $OA \cdot FA = AF \cdot AF + AF \cdot FO$; *idem facile ostenditur hoc modo. Cum sit* $HA = HO + OA$ (§. 86. Arithm.), *erit* $HA^2 = HO^2 + 2HO \cdot OA + OA^2$ (§. 261. Arithm.). *Et quoniam* $HA = AO + OH$ (§ 86. Arithm.); *erit* $HA \cdot HO = (AO + OH) HO = HO \cdot OA + HO^2$ *&* $HA \cdot AO = (AO + OH) AO = AO^2 + OH \cdot AO$ (§. 93. Arithm.), *consequenter* $HA^2 = HA \cdot HO + HA \cdot AO$ (§. 87. Arithm.). *Similiter cum sit* $AB^2 = AO^2 + 2AO \cdot OB + OB^2$ *&* $AB \cdot BO = (AO + OB) OB = AO \cdot OB + OB^2$ *&* $AB \cdot AO = (AO + OB) AO = AO^2 + AO \cdot OB$; *erit* $AB^2 = AB \cdot BO + AB \cdot AO$. *Et quia* $OA = AD + OD$ (§. 86. Arithm.), *erit* $OA \cdot DA = (AD + OD) DA = AD \cdot AD + AD \cdot OD$ (§. 93. Arithm.). *Similiter quia* $AO = AF + FO$; *erit* $OA \cdot FA = AF \cdot AF + AF \cdot FO$.

SCHOLION 2.

428. Joannes Bernoulli (f) *ex simplicissimis principiis mechanicis theoriam de centro oscillationis ab* Hugenio (g) *inventam & a* Jacobo Bernoulli *fratre* (h) *ex natura vectis demonstratam, quemadmodum modo uberius exposuimus, deduxit & ad agitationem pendulorum in liquoribus perduxit. Operæ igitur pretium nos facturos existimamus, si viri ingeniosissimi methodum hic dilucidemus.*

PROBLEMA 61.

429. *Determinare centrum oscillationis in pendulo composito.*

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

Sit virga inflexilis AL gravitatis expers, onusta ponderibus quotcunque C, D &c. in distantiis quotcunque AC, AD &c. ab axe oscillationis A; determinandum est centrum oscillationis Z seu longitudo penduli simplicis AZ composito AL isochroni. Tab. XVI. Fig. 155.

Sit itaque C massa ponderis in C; D vero massa ponderis in D: quæ pondera animantur a gravitate naturali G; erit pondus in $C = G \cdot C$ & momentum ejus $G \cdot C \cdot AC$. Eodem prorsus modo reperitur pondus in $D = G \cdot D$ & momentum ejus $= G \cdot D \cdot AD$ & ita porro, si plura fuerint pondera (§. 153.).

Assumatur jam pro arbitrio punctum P & quæratur tum massa ponderis, tum gravitas, a qua animanda, ut pondus ibidem habeat momentum ponderi C æquale, adeoque ipsi C substituti possit.

Ni-

(f) In Actis Erudit. A. 1714. p. 257 & seqq.
(g) In Horolog. oscillat. part. 4. f. 91 & seqq.
(h) In Actis Erudit. A. 1691. p. 317.

Digitized by Google

Nimirum cum gravitates seu vires acceleratrices maſſarum ſint ut celeritates, quas producunt in inſtanti, celeritates autem in tempuſculo infinite parvo, quo ex AL in A (L) movetur pendulum, ſint ut C (C) ad P (P) (§. 33.), conſequenter ut AC ad AP (§. 138. 412. *Geom.*); erit ut AC ad AP ita gravitas in C ad fictitiam in P, a qua animandum pondus in P in locum ipſius C ſurrogandum, conſequenter gravitas in $P = \frac{AP.G.}{AC}$

Quodſi maſſa hujus ponderis ponatur P; erit pondus $= \frac{G.P.AP}{AC}$

& momentum $= \frac{G.P.AP^2}{AC}$, quod cum ſit æquale momento ponderis in C, erit

$$\frac{G.P.AP^2}{AC} = C.G.AC$$

$$P = \frac{C.AC^2}{AP^2}$$

Eodem prorſus modo reperitur pondus in P ſubſtituendum ponderi in D: nimirum maſſa ejus $= \frac{AD^2.D}{AP^2}$; gravitas, qua animanda, $= \frac{AP.G}{AD}$

(*Wolfii Math. Tom. 2.*)

Eſt itaque pondus, quod in P ſubſtitui debet pro pondere, quod eſt in C, $\frac{AP.G}{AC} . \frac{C.AC^2}{AP^2} = \frac{AC.C.G}{AP}$ & pondus, quod pro D in P ſubſtituendum $= \frac{AP.G}{AD} . \frac{AD^2.D}{AP^2}$

$$= \frac{AD.D.G}{AP}$$

Quoniam hæc pondera a gravitatibus particularibus animantur, invenienda eſt porro gravitas communis, quæ animat uniformiter maſſarum ſeu corporum aggregatum.

Sit ea gravitas $= x$: erit

$$\frac{AC^2.Cx}{AP^2} + \frac{AD^2.Dx}{AP^2} \text{ \&c.} = \frac{AC.C.G}{AP} + \frac{AD.D.G}{AP} \text{ \&c.}$$

$$AC^2.Cx + AD^2.Dx \text{ \&c.} = (AC.C + AD.D \text{ \&c.})AP.G$$

$$x = \frac{(AC.C + AD.D \text{ \&c.})AP.G}{AC^2.C + AD^2.D \text{ \&c.}}$$

hoc eſt, gravitas communis reperitur dividendo ponderum ſummam per ſummam maſſarum.

Cum itaque pendulum AP, quod animatur a gravitate fictitia

$\frac{AC . C + AD . D \&c. . AP . G}{AC^2 . C + AD^2 . D}$ fit composito AL isochronum, pendula vero simplicia isochrona habeant gravitates longitudinibus proportionales (§. 414.); longitudo penduli simplicis AZ fictitio AL isochroni & a gravitate naturali G animandi reperitur, si fiat:
$\frac{AC . C + AD . D \&c. AP . G}{AC^2 . C + AD^2 . D \&c.} : G = AP : AZ$

Erit enim (§. *178. 181. 183. Arithm.*)
$AC . C + AD . D \&c. : AC^2 . C + AD^2 . D \&c. = 1 : AZ$
consequenter
$$AZ = \frac{AC^2 . C + AD^2 . D \&c.}{AC . C + AD . D}$$
quæ est regula *Hugeniana* (i) in propositione præcedente demonstrata; sed in eo casu, ubi pondera, quæ pendulum componunt, sunt in eadem recta, aut saltem, in eodem plano, in quo est axis oscillationis.

Tab. XVI. Fig. 156. Ponamus jam pondera C, D &c. non esse in eadem recta seu in plano, in quo est axis oscillationis, sed quomodocunque in plano quodam verticali circa axem A oscillante disposita, ita tamen ut situm non mutent. Sit AM linea verticalis plani & per centrum suspensionis A ducatur AH ad verticalem AM normalis, adeoque horizontalis (§. 210.), radio AC describatur arcus *c*C & ex C demittatur perpendicularis CK ad AH; erit gravitas absoluta in C ad gravitatem respectivam, qua impellitur radius AC in ratione AC ad AK (§. 272.) sive RC, adeoque
$$AC : RC = G : \frac{G . RC}{AC}$$
Est ergo vis respectiva in C $= \frac{G . RC}{AC}$

Eodem modo reperitur gravitas respectiva in D $= \frac{G . DS}{AD}$. Et, si gravitas absoluta in P $= M$, respectiva ibidem $\frac{M . PQ}{AP}$.

Sit jam punctum P pro arbitrio assumtum, in quo substituendum est pondus aliquod pro C idem cum ipso momentum habens. Constat primum ex antecedentibus, si radio AP describatur arcus P*p*, fore
$$\frac{AC : AP = \frac{G . RC}{AC} : \frac{M . QP}{AP}}{\text{adeoque } AC^2 : AP^2 = G . RC : M . QP}$$
(§. *185. Arithm.*).

AP²

(i) Prop. 5. part. 4. de Horolog. oscillat. f. 98.

Digitized by Google

$$AP^2.G.RC = AC^2.M.QP$$

$$\frac{AP^2.G.RC}{AC^2.QP} = M$$

Quodsi N denotet gravitatem absolutam, qua animatur pondus pro D substituendum, reperietur eodem modo

$$N = \frac{AP^2.G.DS}{AD^2.QP}$$

Sit jam massa ponderis gravitate M animandi $= T$. Quoniam ejus momentum æquale est momento ponderis C, in cujus locum surrogatur; erit

$$RC.C.G = \frac{T.AP^2.G.RC.QP}{AC^2.QP}$$

$$C = \frac{T.AP^2}{AC^2}$$

$$\frac{C.AC^2}{AP^2} = T$$

Eodem modo invenitur massa V corporis in P pro altero D substituendi & gravitate N animandi $= \frac{AD^2 D}{AP^2}$

Quoniam gravitas communis, qua ponderum aggregatum in P animatur, est $\frac{T.M + V.N + \&c.}{T+V}$

Vi antecedentium cum sit

$$T.M = \frac{C.AC^2.AP^2.G.RC}{AP^2.AC^2.QP} = \frac{C.G.RC}{QP}$$

$$\& V.N = \frac{D.AD^2.AP^2.G.DS}{AP^2.AD^2.QP} = \frac{D.G.DS}{QP}$$

$$T+V = \frac{AC^2.C + AD^2.D}{AP^2}$$

erit $\frac{T.M + V.N}{T+V}$

$$= \frac{AP^2.C.G.RC + AP^2.D.G.DS}{QP.AC^2.C + QP.AD^2.D}$$

$$= \frac{C.RC + D.DS}{C.AC^2 + D.AD^2} . \frac{AP^2.G}{QP}$$

Habemus adeo gravitatem fictitiam, qua animandum est pendulum AP, ut sit composito isochronum in instanti, quia RC, SD &c. variabiles in motu penduli.

Tandem itaque ut ante infertur:

$$\frac{C.RC + D.SD}{C.AC^2 + D.AD^2} . \frac{AP^2.G}{PQ} : G = AP : AZ$$

$(C.RC + D.SD)AP : (C.AC^2 + D.AD)QP = 1 : AZ$ (*§ 178. 181. 185. Arithm.*).

Quamobrem

$$AZ = \frac{C.AC^2 + D.AD}{C.RC + D.SD} . \frac{QP}{AP}$$

Quæ est longitudo penduli fictitii in instanti composito isochroni ob RC, SD, QP variabiles.

Sit jam in F centrum gravitatis, erit ob parallelas FE & QP (§. 268. *Geom.*).

$$QP : AP = PE : AF$$

adeoque $AF = \frac{AP . PE}{QP}$ = quantitati constanti. Erit etiam ob centrum gravitatis in F (§. 153.)

$$(C + D) EF = RC . C + SD . D$$

adeoque si AP transit per centrum gravitatis F, hoc est, si sit *linea centri* phrasi *Hugeniana;* erit

$$AZ = \frac{C . AC^2 + D . DA^2 \&c.}{(C + D \&c.) AF}$$

Atque hæc est regula *Hugeniana* pro inveniendo centro oscillationis in pendulo quocunque composito, quam ipsius verbis enunciat sequens

Theorema. Si pondera singula penduli compositi ducantur in quadrata distantiarum suarum ab axe oscillationis & summa productorum dividatur per id, quod fit ducendo ponderum summam in distantiam centri gravitatis communis omnium ab eodem axe oscillationis; orietur longitudo penduli simplicis composito isochroni, sive distantia inter axem & centrum oscillationis ipsius penduli compositi.

COROLLARIUM 1.

430. Si pondera omnia fuerint æqualia, nempe D = F = H = B &c. = P & numerus ponderum *n;* erit

$$AO = \frac{P . AD^2 + P . FA^2 + P . HA^2 + P . BA^2 \&c.}{nP . AR}$$ Tab. IV. Fig. 48.

hoc est, $AO = \frac{AD^2 + FA^2 + HA^2 + BA^2 \&c.}{nAR}$

COROLLARIUM 2.

431. Quoniam D . AD est momentum ponderis D (§. 153.); si momenta considerentur ut pondera ad rectam AB applicata; centrum oscillationis coincidet cum centro gravitatis communi horum ponderum (§. 429.), adeoque momentis in ponderum locum surrogatis eodem modo determinatur centrum oscillationis, quo supra centrum gravitatis commune investigavimus (§. 157.).

COROLLARIUM 3.

432. Si figura plana circa axem RI ita oscilletur, ut is semper maneat in plano oscillante seu (quod perinde est) ordinatis figuræ MN constanter sit parallelus; singulæ pondusculi cujuscunque MN*nm* partes ab axe oscillationis RI æqualiter distant (§. 216. *Geom.*), nec aliter oscillatur e. gr. particula G ac si in puncto L suspenderetur. Est adeo momentum integri pondusculi MN*nm* (si fuerit $AP = LG = x$, $MN = 2y$, $Pp = dx$,) $= 2yxdx$ (§. 153.), consequenter distantia centri oscillationis ab axe $= 2\int yx^2dx : 2\int yxdx$ (§. 157.) $= \int yx^2 : \int yxdx$. Quodsi itaque ex æquatione speciali ad figuram aliquam datam valor ipsius y substituatur & elementa debita ratione integrentur; prodibit distantia centri oscillationis ab axe in terminis ordinariis. Tab. I. Fig. 9.

PRO-

Digitized by Google

PROBLEMA 62.

Tab. I. Fig. 2. 433. *Determinare centrum oscillationis in linea recta* AB.

RESOLUTIO.

Sit AB$=a$, AD$=x$, erit particula infinite parva DP$=dx$, momentum hujus ponduſculi xdx, conſequenter diſtantia centri oſcillationis in parte AD a puncto ſuſpenſionis $A=\int x^2dx : \int xdx = \frac{1}{3}x^3 : \frac{1}{2}x^2 = \frac{2}{3}x$ (§. 432.). Quodſi pro x ſubſtituatur a, prodibit diſtantia centri oſcillationis in recta integra AB$=\frac{2}{3}a$.

SCHOLION.

434. *Hac ratione definitur centrum oſcillationis fili ferrei circa alterum extremum oſcillantis.*

PROBLEMA 63.

Tab. I. Fig. 9. 435. *Determinare centrum oſcillationis rectanguli* RIHS *in puncto medio* A *lateris* RI *ſuſpenſi & circa axem* RI *oſcillantis.*

RESOLUTIO.

Si fuerit RI$=$SH$=a$, AP$=x$, erit P$p=dx$ & elementum areæ, conſequenter unum ponduſculum $=adx$ & Momentum ejus $axdx$ (§. 153.). Quare (§. 432.) $\int ax^2dx : \int axdx = \frac{1}{3}ax^3 : \frac{1}{2}ax^2 = \frac{2}{3}x$ indefinite exprimit diſtantiam centri oſcillationis ab axe oſcillationis in ſegmento RCDI. Quodſi igitur pro x ſubſtituatur integri rectanguli altitudo RS$=b$; prodibit diſtantia centri oſcillationis ab axe$=\frac{2}{3}b$.

PROBLEMA 64.

436. *Determinare centrum oſcillationis trianguli æquicruri* SAH *circa axem* RI *baſi* SH *parallelum oſcillantis.* Tab. I. Fig. 9.

RESOLUTIO.

Sit altitudo AE$=a$, AP$=x$, EH $=\frac{1}{2}b$, PV$=y$, erit (§. 268. *Geom.*).

$$AP : PV = AE : EH$$
$$x : y = a : \tfrac{1}{2}b$$
$$ay = \tfrac{1}{2}bx$$
$$y = bx : 2a$$

Hinc $\int yx^2dx = \frac{\int bx^3dx}{2a} = \frac{bx^4}{8a}$

$$\int yxdx = \frac{\int bx^2dx}{2a} = \frac{bx^3}{6a}$$

$$\& \ \frac{\int yx^2dx}{\int yxdx} = \frac{6abx^4}{8abx^3} = \tfrac{6}{8}x = \tfrac{3}{4}x.$$

Quodſi pro x ſubſtituatur altitudo integra AE$=a$, prodibit diſtantia centri oſcillationis in triangulo æquicruro ASH a vertice $A=\frac{3}{4}a=\frac{3}{4}$AE.

PROBLEMA 65.

437. *Determinare centrum oſcillationis trianguli æquicruri* SAH *circa baſin* SH *oſcillantis.* Tab. I. Fig. 9.

RESOLUTIO.

Sint omnia, ut in problemate præcedente, erit $PE = a - x$. Unde

$$\int yx^2dx = \int \frac{bxdx}{2a}(a-x)^2 = \int\left(\tfrac{1}{2}abxdx - bx^2dx + \frac{bx^3dx}{2a}\right) = \tfrac{1}{4}abx^2 - \tfrac{1}{3}bx^3 + \frac{bx^4}{8a}$$

$$\int yxdx = \int \frac{bxdx}{2a}(a-x) = \int\left(\tfrac{1}{2}bxdx - \frac{bx^2dx}{2a}\right) = \tfrac{1}{4}bx^2 - \frac{bx^3}{6a}$$

&

$$\frac{\int yx^2dx}{\int yxdx} = \left(\tfrac{1}{4}abx^2 - \tfrac{1}{3}bx^3 + \frac{bx^4}{8a}\right) : \left(\tfrac{1}{4}bx^2 - \frac{bx^3}{6a}\right) = \frac{(24a^2bx^2 - 32abx^3 + 12bx^4)}{96a} : \frac{(6abx^2 - 4bx^3)}{24a}$$

$$= \frac{12a^2bx^2 - 16abx^3 + 6bx^4}{12abx^2 - 8bx^3} = \frac{6a^2 - 8ax + 3x^2}{6a - 4x}.$$

Habemus adeo distantiam centri oscillationis ab axe in segmento SZVH.

Quodsi pro x substituatur a, prodibit distantia centri oscillationis in integro triangulo $SAH = (6a^2 - 8a^2 + 3a^2) : (6a - 4a) = \tfrac{1}{2}a = \tfrac{1}{2}AE$.

PROBLEMA 66.

438. *Determinare centrum oscillationis in triangulo æquicruro* SAH, *quod filo inflexili & gravitatis experte* Ah *suspensum circa axem ei basi* SH *parallelum oscillatur.* Tab. I. Fig. 9.

RESOLUTIO.

Sit $Ab = c$, reliqua sint ut supra (§. 436.): erit $Pb = c + x$. Unde

$$\int yx^2dx = \int (c+x)^2 \frac{bxdx}{2a} = \int\left(\frac{bc^2xdx}{2a} + \frac{bcx^2dx}{a} + \frac{bx^3dx}{2a}\right) = \frac{bc^2x^2}{4a} + \frac{bcx^3}{3a} + \frac{bx^4}{8a} = \frac{24bc^2x^2 + 32bcx^3 + 12bx^4}{96a} = \frac{6bc^2x^2 + 8bcx^3 + 3bx^4}{24a}$$

$$\int yxdx = \int (c+x)\frac{bxdx}{2a} = \int\left(\frac{bcxdx}{2a} + \frac{bx^2dx}{2a}\right) = \frac{bcx^2}{4a} + \frac{bx^3}{6a} = \frac{6bcx^2 + 4bx^3}{24a} = \frac{3bcx^2 + 2bx^3}{12a}.$$

$$\frac{\int yx^2dx}{\int yxdx} = \frac{(6bc^2x^2 + 8bcx^3 + 3bx^4)}{24a} : \frac{(3bcx^2 + 2bx^3)}{12a} = \frac{6bc^2x^2 + 8bcx^3 + 3bx^4}{6bcx^2 + 4bx^3}$$

$$= \frac{6c^2 + 8cx + 3x^2}{6c + 4x},$$ qui est valor di-

stan-

ſtantiæ centri oſcillationis ab axe *ri* in ſegmento trianguli AZV.

Quodſi pro x ſubſtituatur trianguli altitudo AE $= a$, prodibit diſtantia centri oſcillationis ab axe oſcillationis *ri* in triangulo integro SAH $(6c^2 + 8ac + 3a^2):(6c + 4a)$.

SCHOLION.

439. *Ex unico hoc exemplo intelligitur, quid in caſu ſimili aliarum figurarum factu opus ſit.*

PROBLEMA 67.

Tab. I. Fig. 9. 440. *Determinare centrum oſcillationis in infinitis parabolis & curvis agnatis circa axem* RI *baſi* SH *parallelum oſcillantibus.*

Quoniam (§. 163.) $\int xydx = \int x^{(r+n):n}dx = \frac{n}{r+2n} x^{(r+2n):n}$

erit $\int x^{(r+2n):n}dx = \frac{n}{r+3n} x^{(r+3n):n}$

& $\frac{\int x^2ydx}{\int xydx} = \frac{(r+2n)x^{(r+3n):n}}{(r+3n)x^{(r+2n):n}}$

$= \frac{r+2n}{r+3n} x.$

E. gr. In parabola Apolloniana $r=1$, $n=2$. Ergo diſtantia centri oſcillationis ab axe $= \frac{5}{7}$ AE.

In paraboloide cubicali $r=1$, $n=3$. Ergo diſtantia centri oſcillationis ab axe $= \frac{7}{10}$ AE.

In paraboloide biquadratico $r=1$, $n=4$. Ergo diſtantia centri oſcillationis ab axe $= \frac{9}{13}$ AE.

In curva, ad quam $ax^2 = y^3$, $r=2$, $n=3$. Ergo diſtantia centri oſcillationis ab axe $= \frac{8}{11}$ AE.

In curva, ad quam $a^2x^3 = y^5$, $r=3$, $n=5$. Ergo diſtantia centri oſcillationis ab axe $= \frac{13}{18}$ AE.

PROBLEMA 68.

441. *Invenire centrum oſcillationis in parabola* SAH *circa baſin* SH *agitata.*

RESOLUTIO.

Sit AE $= b$, AP $= x$, MP $= y$; erit $ydx = x^{1:2}dx$, EP $= b - x$ & diſtantia centri oſcillationis $= \int x^{1:2}dx(b-x)^2 : \int x^{1:2}dx(b-x)$. Quoniam itaque $\int x^{1:2}dx\,(b-x)^2 = \int b^2x^{1:2}dx - \int 2bx^{3:2}dx + \int x^{5:2}dx = \frac{2}{3}b^2x^{3:2} - \frac{4}{5}bx^{5:2} + \frac{2}{7}x^{7:2} = \frac{70b^2x^{3:2} - 84bx^{5:2} + 30x^{7:2}}{105}$, & Tab. I. Fig. 9.

$\int x^{1:2}dx(b-x) = \int bx^{1:2}dx - \int x^{3:2}dx = \frac{2}{3}bx^{3:2} - \frac{2}{5}x^{5:2} = \frac{10bx^{3:2} - 6x^{5:2}}{15}$;

erit diſtantia centri oſcillationis

$= \frac{15(70b^2x^{3:2} - 84bx^{5:2} + 30x^{7:2})}{105(10bx^{3:2} - 6x^{5:2})}$

$= \frac{35b^2 - 42bx + 15x^2)}{35b - 21x}$

Quodſi fiat $x = b$, erit diſtantia cen-

centri oscillationis totius parabolæ SAH a basi SH

$$= \frac{35b^2 - 42b^2 + 15b^2}{35b - 21b}$$

$$= \frac{8b^2}{14b}$$

$$= \tfrac{4}{7}b = \tfrac{4}{7}\text{AE}.$$

PROBLEMA 69.

442. *Invenire centrum oscillationis in infinitis parabolis* SAH *circa basin* SH *agitatis.*

RESOLUTIO.

Quoniam pro infinitis parabolis $y^m = x$ (§. 519. *Analys.*);

$$y = x^{1:m}$$

$$ydx = x^{1:m}dx$$

$$x^2ydx = x^{1:m}dx(b-x)^2$$
$$= x^{1:m}dx(b^2 - 2bx + x^2)$$
$$= b^2x^{1:m}dx - 2bx^{1+1:m}dx + x^{2+1:m}dx$$

$$\int x^2ydx = \frac{m}{m+1}b^2x^{1+1:m} - \frac{2mbx^{2+1:m}}{2m+1} + \frac{m}{3m+1}x^{3+1:m}$$

$$= \frac{m(2m+1)(3m+1)b^2x^{1+1:m} - 2m(m+1)(3m+1)bx^{2+1:m} + m(m+1)(2m+1)x^{3+1:m}}{(m+1)(2m+1)(3m+1)}$$

$$\int xydx = \int bx^{1:m}dx - \int x^{1+1:m}dx$$

$$= \frac{m}{m+1}bx^{1+1:m} - \frac{m}{2m+1}x^{2+1:m}$$

$$= \frac{m(2m+1)bx^{1+1:m} - (m+1)x^{2+1:m}}{(m+1)(2m+1)}$$

$$\frac{\int x^2ydx}{\int xydx} = \frac{m(m+1)(2m+1)^2(3m+1)b^2x^{1+1:m} - 2m(m+1)^2(2m+1)(3m+1)bx^{2+1:m} + m(m+1)^2(2m+1)^2x^{3+1:m}}{m(m+1)(2m+1)^2(3m+1)bx^{1+1:m} - m(m+1)^2(2m+1)(3m+1)x^{2+1:m}}$$

$$= \frac{(2m+1)(3m+1)b^2 - (2m+2)(3m+1)bx + (m+1)(2m+1)x^2}{(2m+1)(3m+1)b - (m+1)(3m+1)x}$$

Quodsi fiat $x = b$, cum sit

$$(2m+1)(3m+1) = 6m^2 + 5m + 1$$

$(2m+2)(3m+1) = 6m^2 + 8m + 2$
$(m+1)(2m+1) = 2m^2 + 3m + 1$
$(m+1)(3m+1) = 3m^2 + 4m + 1$
reperietur distantia centri oscillationis in infinitis parabolis a basi SH =

$$\frac{2m^2b^2}{(3m^2+m)b} = \frac{2mb}{3m+1} = \frac{2m}{3m+1}\,AE.$$

Sit jam $m=2$, prodibit eadem distantia $= \frac{4}{7}$ AE, ut ante (§. 441.).

LEMMA 2.

Tab. XVI. Fig. 157. 443. *Si in triangulo quocunque* MAN *ducitur utcunque recta* AP; *erit* $AM^2 . PN + AN^2 . PM = AP^2 . MN + PM . PN . MN$.

DEMONSTRATIO.

Quoniam enim $o = P$ (§. 156. *Geom.*) & ang. MAD=MND (§. 315. *Geom.*), erit AM : AP = ND : NP (§. 267. *Geom.*).
adeoque AM . NP = AP . ND (§. 297. *Arithm.*).

Similiter $n = y$ (§. 156. *Geom.*) & ang. ANM=ADM (§. 315. *Geom.*), consequenter (§. 267. *Geom.*).

AN : AP = MD : MP

adeoque AN . MP . = AP . MD (§. 297. *Arithm.*):

Est vero MN . AD = AM . ND + AN . MD (§. 324. *Analys.*).

Quare cum sit AD=AP+PD (§. 86. *Arithm.*); erit etiam MN . AP+MN . PD=AM . ND+AN . MD, consequenter $MN . AP^2 + MN.PD.AP = AM.ND.AP + AN.MD.AP$ (§. 93. *Arithm.*). Quare cum sit *per demonstrata*

ND . AP = AM . NP
MD . AP = AN . MP

atque AP . PD = MP . PN (§. 381. *Geom.*); erit $MN . AP^2 + MN . MP . PN = AM^2 . NP + AN^2 . MP$. *Q. e. d.*

SCHOLION.

444. *Utimur hoc lemmate in determinando centro oscillationis in figuris, quæ* in latus agitantur, *hoc est, circa axem ad planum figuræ normalem. Ejus enim determinatio difficilior est in hoc casu, quam in præcedente, ubi agitatio fit in planum: quemadmodum videre est apud* Hugenium (k). *Calculum differentialem ad hoc negotium applicavit* Jacobus Bernoulli (l). *Nos primum regulam generalem demonstrabimus eamque deinde ad problemata specialia applicabimus, quemadmodum in casu præcedente factum.*

PROBLEMA 70.

445. *Determinare centrum oscillationis in figuris in latus agitatis.* Tab. XVI. Fig. 158.

RESOLUTIO.

Ponamus figuram AMN agitari in

(k) in Horolog. oscillat. part. 4. f. 91. & seqq.
(l) in Comment. Acad. Reg. Scient. A. 1703. p. m. 96. 327.

Digitized by Google

in latus, hoc est, ita ut planum figuræ AP sit ad axem oscillationis normale. Consideremus primum duo puncta M & N tanquam pondera æqualia, aut sumantur pro punctis potius rectarum MP & PN portiones infinite parvæ; erit eorum centrum gravitatis commune ob MP = PN in P (§. 154.), atque ideo pondus in P = M + N (§. 125.), consequenter distantia centri oscillationis penduli hujus compositi $= \frac{M.AM^2 + N.AN^2}{(M+N)AP}$ (§. 429.). Est vero M = N & MP = PN *per hypoth.* Ergo distantia centri oscillationis $= \frac{PN.AM^2}{(M+N)} + \frac{PM.AN^2}{AP}$. Est vero $PN.AM^2 + PM.AN^2 = MN.AP^2 = MN.MP.PN$ (§. 443.), consequenter $M.AM^2 + N.AN^2 = MN.AP^2 + MN.MP.PN$, hoc est, ob M = N, & PM = PN adeoque MN = PM + PN, $\frac{M.AM^2 + N.AN^2}{P.AP} = \frac{P.AP^2}{P.AP} + \frac{P.MP.NP}{}$. Jam cum recta MN in innumera istiusmodi ponduscula resolvi possit, qualia sunt M & N = *dp*; si PM sumatur variabilis & dicatur *y*, AP vero *x*, summa ponduscolorum duorum M & N = $2dp$; erit pro duobus ponduscolis distantia centri oscillationis $\frac{2x^2dp + 2y^2dp}{2xdp}$, consequenter pro omnibus ponduscolis secundum rectam MN constitutis distantia centri oscillationis $= \frac{2\int x^2dp + 2\int y^2dp}{2\int xdp} = \frac{\int x^2dp + \int y^2dp}{\int xdp}$. Enimvero cum ponduscula *dp* sint parallelogrammula, quorum latitudo est differentiale *dy*, altitudo differentiale abscissæ, adeoque $dp = dxdy$ & dx respectu dy constans est; erit $\int dp = dx\int dy$. Similiter quia *y* variabilis est respectu *x*, quod ejus intuitu pro constante habetur; erit $\int x^2dy = x^2y$ & $\int y^2dy = \frac{1}{3}y^3$, & $\int xdy = xy$, consequenter si jam *y* sumatur pro integra semiordinata PM; erit distantia centri oscillationis in integra figura plana oscillante MAN $= \frac{\int x^2ydx + \int \frac{1}{3}y^3dx}{\int xydx}$. Non alia igitur re opus est, quam ut pro *y* ex æquatione ad curvam speciali substituatur valor ipsius *y* & y^3.

COROLLARIUM I.

446. $\frac{\int x^2ydx}{\int xydx}$ exprimit distantiam centri

tri oscillationis in figura in planum agitata (§ 432.). Quare si distantia centri oscillationis in figura in latus agitata desideretur; ad illam nonnisi adjicienda $\frac{\int \frac{1}{3} y^3 dx}{\int xydx}$, ubi data vel jam inventa præsupponitur.

COROLLARIUM 2.

447. Liquet etiam hinc, distantiam centri oscillationis in figura in planum agitata & in eadem in latus agitata, siquidem ita visum fuerit, una reperiri posse.

PROBLEMA 71.

Tab. I. Fig. 9. 448. *Determinare centrum oscillationis rectanguli* RIHS *ex puncto medio* A *lateris* RI *suspensi & in latus agitati.*

RESOLUTIO.

Si fuerit RI=SH=a, AP=x, erit distantia centri oscillationis ab axe sive a puncto A pro agitatione in planum $= \frac{2}{3}x$, seu pro integro rectangulo $= \frac{2}{3}b$ (§. 435.) &, ob $y=a$, $\int xydx = \int axdx = \frac{1}{2}ax^2$ & $\int \frac{1}{3}y^3dx = \int \frac{1}{3}a^3dx = \frac{1}{3}a^3x$. Quare $\frac{\int \frac{1}{3} y^3dx}{\int xydx}$ seu particula adjicienda, ut prodeat distantia centri oscillationis rectanguli in latus agitati (§. 446.), $= \frac{2a^3x}{3ax^2} = \frac{2a^2}{3x}$, seu si porro fiat $x=b$, $= \frac{2a^2}{3b}$. Est igitur distantia quæsita $= \frac{2}{3}b + \frac{2a^2}{3b}$.

PROBLEMA 72.

449. *Determinare centrum oscillationis trianguli æquicruri* SAH *ex vertice suspensi & in latus agitati.* Tab. I. Fig. 9.

RESOLUTIO.

Sit altitudo AE=a, AP=x, EH $= \frac{1}{2}b$, PV=y; erit distantia centri oscillationis in planum agitati trianguli $= \frac{3}{4}x$, aut totius trianguli $= \frac{3}{4}a$, $\int yxdx = \frac{bx^3}{6a}$ & $y = \frac{bx}{2a}$ (§. 436.). Quare $\int \frac{1}{3}y^3dx = \int \frac{b^3x^3dx}{24a^3} = \frac{b^3x^4}{96a^3}$, consequenter particula adjicienda $\frac{\int \frac{1}{3}y^3dx}{\int xydx} = \frac{b^3x^4}{96a^3} : \frac{bx^3}{6a} = \frac{6ab^3x^4}{96a^3bx^3} = \frac{b^2x}{16a^2}$.

Est igitur distantia centri oscillationis trianguli æquicruri ex vertice suspensi & in latus agitati $= \frac{3}{4}x + b^2x : 16a^2$. Quodsi fiat $x=a$; erit distantia centri oscillationis trianguli æquicruri $= \frac{3}{4}a + \frac{b^2}{16a}$.

PROBLEMA 73.

Tab. I. Fig. 9. 450. *Determinare centrum oscillationis trianguli æquicruri* SAH *in medio basis* SH *suspensi & in latus agitati.*

RESOLUTIO.

Sint omnia ut in problemate præcedente, erit PE $= a - x$, $\int yxdx = \frac{1}{4}bx^2 - \frac{bx^3}{6a}$ & distantia centri oscillationis trianguli in planum agitati $= \frac{6a^2 - 8ax + 3x^2}{6a - 4x}$, aut integri trianguli $= \frac{1}{2}a$ (§. 437.). Sed $\int\frac{1}{3}y^3dx = \frac{b^3x^4}{96a^3}$ (§. 449.). Ergo pars addenda $= \frac{24\,ab^3x^4}{96a^3(6abx^2 - 4bx^3)} = \frac{b^3x^2}{24a^3 - 16a^2x}$ consequenter, si fiat $x = a$, pro triangulo integro $\frac{a^2b^2}{24a^3 - 16a^3} = \frac{b^2}{8a}$. Est igitur distantia centri oscillationis trianguli æquicruri in medio basis suspensi & in latus agitati $= \frac{1}{2}a + \frac{b^2}{8a}$.

PROBLEMA 74.

451. *Determinare centrum oscillationis parabolæ ex vertice suspensæ & in latus agitatæ.*

RESOLUTIO.

In parabola in planum agitata distantia centri oscillationis a vertice est $\frac{5}{7}x$ &, si parameter $= 1$, $y^2 = x$ adeoque $y^3 = x^{1+1:2}$ & $\int yxdx = \frac{2}{5}x^{5:2}$ (§. 440.). Quare cum porro sit $\int\frac{1}{3}y^3dx = \int\frac{1}{3}x^{3:2}dx = \frac{2}{5}x^{5:2}$; erit pars adjicienda $= \frac{2}{15}x^{5:2} : \frac{2}{5}x^{5:2} = \frac{5}{15} = \frac{1}{3}$. Est nempe parameter unitas, adeoque $\frac{1}{3}$ pars tertia parametri: quæ si dicatur b, erit pars adjicienda $= \frac{1}{3}b$. Habemus adeo distantiam centri oscillationis a vertice parabolæ in latus agitatæ $= \frac{5}{7}x + \frac{1}{3}b$.

PROBLEMA 75.

452. *Determinare centrum oscillationis in infinitis parabolis in latus agitatis, & ex vertice suspensis.*

RESOLUTIO.

In infinitis parabolis & curvis agnatis in planum agitatis distantia centri oscillationis a vertice est $\frac{(r+2n)x}{r+3n}$, $\int xydx = \frac{n}{r+2n}x^{(r+2n):n}$ &, quia $y = x^{r:n}$, $y^3 = x^{3r:n}$ (§. 440.). Quoniam itaque $\int\frac{1}{3}y^3dx = \frac{n}{3(3r+n)}x^{(3r+n):n} = \frac{n}{(9r+3n)}x^{(3r+n):n}$; erit pars adjicienda $= \frac{n}{9r+3n}x^{(3r+n):n} : \frac{n}{r+2n}x^{(r+2n):n} =$

$\frac{r+2n}{9r+3n} x^{(2r-n):n}$. Est itaque distantia centri oscillationis in infinitis parabolis aliisque curvis agnatis in latus agitatis $\frac{r+2n}{r+3n} x + \frac{r+2n}{9r+3n} x^{(2r-n):n}$.

Quoniam in parabola Apolloniana $r=1$, $n=2$, erit $\frac{r+2n}{r+3n} = \frac{1+4}{1+6} = \frac{5}{7}$, $\frac{r+2n}{9r+3n} = \frac{1+4}{9+6} = \frac{5}{15} = \frac{1}{3}$, $\frac{2r-n}{n} = \frac{2-2}{2} = 0$, adeoque $x^{(2r-n):n} = x^0 = 1$. Est adeo in parabola Apolloniana distantia centri oscillationis a vertice $\frac{5}{7}x + \frac{1}{3}b$, si nempe parameter $= b$, prorsus ut in problemate praecedente (§. 451.).

PROBLEMA 76.

453. *Determinare centrum oscillationis parabolae ex dimidia basi suspensae & in latus agitatae.*

RESOLUTIO.

Tab. I. Fig. 9. In parabola SAH circa basin SH in planum agitata distantia centri oscillationis a basi est $\frac{4}{7}b$, seu $\frac{4}{7}$ AE &, si parameter $=1$, $y^3 = x^{3:2}$ & $\int xydx = \frac{10bx^{3:2} - 6x^{5:2}}{15}$ (§. 441.).

Quare cum porro sit $\int \frac{1}{3} y^3 dx = \frac{2}{15} x^{5:2}$; erit $\int \frac{1}{3} y^3 dx : \int xydx$, seu pars addenda $\frac{2x^{5:2}}{10bx^{3:2} - 6x^{5:2}} = \frac{x}{5b-3x}$ $=$ (si parameter 1 fiat $=a$) $\frac{ax}{5b-3x}$, consequenter si fiat $x=b$, prodibit pars adjicienda $= \frac{ab}{5b-3b} = \frac{1}{2}a$. Est igitur distantia centri oscillationis parabolae ex dimidia basi suspensae & in latus agitatae $= \frac{4}{7} b + \frac{1}{2}a$.

PROBLEMA 77.

454. *Invenire centrum oscillationis in figuris solidis rotatione genitis.* Tab. XVI. Fig. 158.

RESOLUTIO.

Non alia re opus est, quam ut in formula superiori $\frac{\int x^2 dp + \int y^2 dp}{\int xdp}$ figuris solidis convenienter explicetur valor ponduscuIi dp. Designat autem dp elementum Solidi, quod habetur ducendo in se invicem differentialia abscissae AP & abscissae PQ atque semiordinatam QK. Sit $PQ=y$, $AP=x$, $QK=v$, erit elementum $vdydx$, consequenter cum $\int vdy$ exprimat segmentum PQKL, quod concipitur instar ponduscuIi in QP collectum, si PM fit $=y$, $2\int vdy$ exprimit integrum semicirculum in lineam rectam MN collectum instar ponderis. Sit adeo ratio radii ad semiperipheriam $= r:p$; erit semiperipheria radio PM $=y$ de-

ſcripta $= \frac{py}{r}$, conſequenter area ſemicirculi $= \frac{py^2}{2r}$, adeoque ponduſculum dp in valore $\int x^2 dp$ ſubſtituendum $= \frac{py^2 dx}{2r}$; unde $\int x^2 dp = \int \frac{px^2 y^2 dx}{2r} = \frac{p}{2r} \int x^2 y^2 dx$. Quodſi idem valor ſubſtituatur in $\int x dp$; reperietur idem $\frac{p}{2r} \int xy^2 dx$. Subſtituatur valor ipſius dp etiam in formula $y^2 dp$; erit ponduſculum puncto Q reſpondens $y^2 v dy dx$, conſequenter ponduſcula reſpondentia lineæ QP $= dx \int vy^2 dy$. Dicatur radius circuli PN $= t$: erit $v = \sqrt{(t^2 - y^2)}$, adeoque $\int vy^2 dy = \int y^2 dy \sqrt{(t^2 - y^2)}$. Eſt vero $\int y^2 dy \sqrt{(t^2 - y^2)} = \frac{1}{4} t^2 \int v dy - \frac{1}{4} y v^3$ (§. 455.). Ergo omnia ponduſcula reſpondentia lineæ QP ſunt $\frac{1}{4} t^2 dx \int v dy - \frac{1}{4} y v^3 dx$, et, quando PQ efficitur ipſi PM æqualis, adeoque $t = y$; $\frac{1}{4} t^2 dx \int v dy - \frac{1}{4} v^3 y dx$ reſpondentia lineæ MN, & $\int v dy$ degenerat in quadrantem. In eo igitur caſu cum ſit $\int v dy = \frac{py^2}{4r}$, erit $\frac{1}{4} t^2 dx \int v dy = \frac{py^4 dx}{8r}$. Et quoniam in M ſemiordinata QN evaneſcit, erit $v = o$, adeoque etiam $\frac{1}{4} y v^3 = o$. Prodit adeo tandem $\frac{\int x^2 dp + \int y^2 dp}{\int x dp} = \frac{p \int x^2 y^2 dx + \frac{1}{4} p y^4 dx}{p \int x y^2 dx} = \frac{\int x^2 y^2 dx + \int \frac{1}{4} y^4 dx}{\int x y^2 dx}$, ut adeo in caſu ſpeciali non alia re opus ſit, quam ut pro y ſubſtituatur valor ex æquatione curvæ, vel figuræ, cujus rotatione ſolidum generatur, quemadmodum problemata ſequentia docent.

SCHOLION. 1.

455. *Diximus, ſi* t *ſit conſtans quantitas &* $v = \sqrt{(t^2 - y^2)}$, *eſſe* $\int vy^2 dy = \frac{1}{4} t^2 \int v dy - \frac{1}{4} y v^3$. *Id vero facile probatur, differentiando utrumque integralis membrum: quo facto reſtituitur differentiale ad integrandum propoſitum* (§. 92. Analyſ. infin.). *Quodſi ergo* $\frac{1}{4} t^2 \int v dy - \frac{1}{4} y v^3$ *differentietur, cum* t *conſtans ſit, prodit* $\frac{1}{4} t^2 v dy - \frac{1}{4} v^3 dy - \frac{3}{4} y v^2 dv$. *Jam quia* $v = \sqrt{(t^2 - y^2)}$ per hypoth. $v dv = - y dy$ & $v^2 = t^2 - y^2$. *Quare his valoribus in* $\frac{3}{4} y v^2 dv$ & $\frac{1}{4} v^3 dy$ *ſubſtitutis; differentiale emergit* $\frac{1}{4} t^2 v dy - \frac{1}{4} t^2 v dy + \frac{1}{4} v y^2 dy + \frac{3}{4} v y^2 dy = \frac{4}{4} v y^2 dy = v y^2 dy$, *quod erat elementum ad integrandum propoſitum.*

SCHOLION 2.

456. *Quoniam ſolida rotatione figurarum circa axem fixum genita eodem modo agitantur, in quamcunque partem fiat agitatio; non hic attendenda venit differentia, qualem in figuris planis inter agitationem*

tionem in planum & in latus consideravimus, adeoque in omni casu eadem formula satisfacit.

PROBLEMA 78.

457. *Determinare centrum oscillationis in cylindro ex centro basis suspenso.*

RESOLUTIO.

Tab. XVI. Fig. 159. Sit altitudo cylindri $AB=a$, $CB=b$, $AP=x$. Quoniam omnes circuli basi paralleli æquales sunt, erit in cylindro $PM=CB$, hoc est, $y=b$. Unde habemus (§. 454.):

$$x^2y^2dx = b^2x^2dx$$
$$\tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}b^4dx$$
$$xy^2dx = b^2xdx,$$

adeoque
$$\int x^2y^2dx = \tfrac{1}{3}b^2x^3$$
$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}b^4x$$
$$\int xy^2dx = \tfrac{1}{2}b^2x^2$$

Quare distantia centri oscillationis a puncto suspensionis $= \dfrac{\tfrac{1}{3}b^2x^3 + \tfrac{1}{4}b^4x}{\tfrac{1}{2}b^2x^2} = \tfrac{2}{3}x + \dfrac{b^2}{2x}$. Quodsi fiat $x=a$; prodit distantia centri oscillationis pro integro cylindro $\tfrac{2}{3}a + \dfrac{b^2}{2a}$.

SCHOLION.

458. *Equidem* Dechales (m) *centri oscillationis distantiam in cylindro ex centro basis suspensi tantummodo facit* $\tfrac{2}{3}a$, *sed ipse non diffitetur suo tempore theoriam centri oscillationis nondum fuisse excultam: immo vix fando quid audiverat de regula* Hugeniana, *quæ in Horologio Oscillatorio demonstratur* (n).

PROBLEMA 79.

459. *Determinare centrum oscillationis in cono ex vertice suspensi.*

RESOLUTIO.

Si altitudo Coni $AC=a$, radius basis $BC=b$, $AP=x$, $PM=y$; erit $y=bx:a$ (§. 268. *Geom.*). Quare (§. 454.). Tab. II. Fig. 15.

$$x^2y^2dx = b^2x^4dx : a^2$$
$$\tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}b^4x^4dx : a^4$$
$$xy^2dx = b^2x^3dx : a^2$$

adeoque
$$\int x^2y^2dx = b^2x^5 : 5a^2$$
$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = b^4x^5 : 20a^4$$
$$\int xy^2dx = b^2x^4 : 4a^2$$

Distantia igitur centri oscillationis a puncto suspensionis $= \left(\dfrac{b^2x^5}{5a^2} + \dfrac{b^4x^5}{20a^4}\right) : \dfrac{b^2x^4}{4a^2} = \tfrac{4}{5}x + \dfrac{b^2x}{5a^2}$. Quodsi jam porro fiat $x=a$; prodit distantia centri oscillationis pro cono integro $= \tfrac{4}{5}a + \dfrac{b^2}{5a}$.

PROBLEMA 80.

460. *Determinare centrum oscillationis sphæræ.*

RESO-

(m) in Mundo Mathem. Tom. 2. Stat. lib. 3. prop. 65. f. m. 322.
(n) vide schol. 2. theorem. 62. §. 428.

RESOLUTIO.

Si diameter sphæræ $=r$, erit $y^2 = 2rx - x^2$ (§. 377. *Analyſ.*), adeoque $y^4 = 4r^2x^2 - 4rx^3 + x^4$. Habemus adeo (§. 454.).

$$x^2y^2dx = 2rx^3dx - x^4dx$$
$$\tfrac{1}{4}y^4dx = r^2x^2dx - rx^3dx + \tfrac{1}{4}x^4dx$$
$$xy^2dx = 2rx^2dx - x^3dx$$

$$\int x^2y^2dx = \tfrac{1}{2}rx^4 - \tfrac{1}{5}x^5$$
$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{3}r^2x^3 - \tfrac{1}{4}rx^4 + \tfrac{1}{20}x^5$$
$$\int xy^2dx = \tfrac{2}{3}rx^3 - \tfrac{1}{4}x^4$$

Eſt itaque diſtantia centri oſcillationis a puncto ſuſpenſionis $= \frac{\frac{1}{4}rx^4 + \frac{1}{3}r^2x^3 - \frac{3}{20}x^5}{\frac{2}{3}rx^3 - \frac{1}{4}x^4}$ = (multiplicando per 12 & dividendo per x^3) $\frac{3rx + 4r^2 - \frac{9}{5}x^2}{8r - 3x} = \frac{15rx + 20r^2 - 9x^2}{40r - 15x}$. Quodſi fiat $x = 2r$, prodit diſtantia centri oſcillationis pro ſphæra integra $\frac{30r^2 + 20r^2 - 36r^2}{40r - 30r} = \frac{14}{10}r = \frac{7}{5}r$. Si pro r ponatur diameter d, quia $d = 2r$, adeoque $\frac{1}{2}d = r$, erit eadem diſtantia $= \frac{7}{10}d$.

COROLLARIUM.

461. Si in formula $\frac{15rx + 20r^2 - 9x^2}{40r - 15x}$ fiat $x = r$; prodit diſtantia centri oſcillationis in hemiſphærio $\frac{15r^2 + 20r^2 - 9r^2}{40r - 15r} = \frac{26r}{35}$, ubi nempe ex vertice fuerit ſuſpenſum.

PROBLEMA 81.

462. *Determinare centrum oſcillationis in conoide parabolico circa verticem agitato.*

RESOLUTIO.

Si parameter parabolæ genetricis a; erit $y^2 = ax$ (§. 388. *Analyſ.*), adeoque $y^4 = a^2x^2$. Habemus adeo (§. 454.).

$$x^2y^2dx = ax^3dx$$
$$\tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}a^2x^2dx$$
$$xy^2dx = ax^2dx$$

adeoque
$$\int x^2y^2dx = \tfrac{1}{4}ax^4$$
$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{12}a^2x^3$$
$$\int xy^2dx = \tfrac{1}{3}ax^3$$

Quamobrem diſtantia centri oſcillationis a vertice $= \frac{\frac{1}{4}ax^4 + \frac{1}{12}a^2x^3}{\frac{1}{3}ax^3} = \frac{3}{4}x + \frac{1}{4}a$.

Si diameter baſis fuerit b, & altitudo conoidis $= c$; erit parameter $= b^2 : c$ (§. 391. *Analyſ.*). Quodſi ergo x degenerat in c; prodit diſtantia centri oſcillationis a vertice in Conoide integro $= \frac{3}{4}c + bb : 4c$.

PROBLEMA 82.

460. *Determinare centrum oſcillationis in omnibus Conoidibus parabo-*

parabolicis in infinitum circa verticem agitatis.

RESOLUTIO.

Si parameter fuerit 1, pro omnibus parabolis in infinitum erit $y=x^{1:m}$ (§. 519. *Analys.*), adeoque $y^2=x^{2:m}$ & $y^4=x^{4:m}$. Habemus itaque (§. 454.).

$$x^2y^2dx = x^{2+2:m}dx$$
$$\tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}x^{4:m}dx$$
$$xy^2dx = x^{1+2:m}dx$$
$$\int x^2y^2dx = \frac{m}{3m+2}x^{3+2:m}$$
$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = \frac{m}{4m+16}x^{1+4:m}$$
$$\int xy^2dx = \frac{m}{2m+2}x^{2+1:m}$$

Est igitur distantia centri oscillationis in infinitis Conoidibus parabolicis circa verticem agitatis

$$\frac{2m+2}{3m+2}x + \frac{2m+2}{4m+16}x^{-1+2:m} = \frac{2m+2}{3m+2}x + \frac{m+1}{2m+8}x^{-1+2:m}$$

Ponatur $m=2$, prodit $\frac{6}{8}x+\frac{3}{12}x^0$, hoc est, ob $x^0=1$ (§. 55. *Analys.*), $\frac{3}{4}x+\frac{1}{4}$. Si parameter, quam posuimus $=1$, fiat a; erit distantia centri oscillationis in Conoide parabolico circa verticem agitato $\frac{3}{4}x+\frac{1}{4}a$, prorsus ut ante (§. 462.).

PROBLEMA 83.

464. *Determinare centrum oscillationis in Conoide hyperbolico circa verticem agitato.*

RESOLUTIO.

Quoniam planum describens est hyperbola, si axis transversus dicitur a, parameter b, erit $y^2=bx+\frac{bx^2}{a}$ (§. 459. *Analys.*), adeoque $y^4=b^2x^2+\frac{2b^2x^3}{a}+\frac{b^2x^4}{a^2}$. Habemus igitur (§. 454.).

$$x^2y^2dx = bx^3dx + \frac{bx^4dx}{a}$$
$$\tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}b^2x^2dx + \frac{b^2x^3dx}{2a} + \frac{b^2x^4dx}{4a^2}$$
$$xy^2dx = bx^2dx + \frac{bx^3dx}{a}$$

adeoque $\int x^2y^2dx = \frac{1}{4}bx^4 + \frac{bx^5}{5a}$

$$= \frac{5abx^4+4bx^5}{20a}$$

$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{12}b^2x^3 + \frac{b^2x^4}{8a} + \frac{b^2x^5}{20a^2}$$

$$= \frac{160a^2b^2x^3+240ab^2x^4+96b^2x^5}{12\,.\,160a^2}$$

$$= \frac{10a^2b^2x^3}{12a} + \frac{15ab^2x^4}{\cdot 10a} + 6b^2x^5$$

$$\int xy^2dx = \tfrac{1}{3}bx^3 + \frac{bx^4}{4a}$$

$$= \frac{4abx^3 + 3bx^4}{12a}$$

Prodit itaque

$$\frac{\int x^2y^2dx}{\int xy^2dx} = \frac{3\cdot 5abx^4 + 3\cdot 4bx^5}{5\cdot 4abx^3 + 5\cdot 3bx^4}$$

$$= \frac{15ax + 12x^2}{20a + 15x}$$

$$\frac{\int \frac{1}{4}y^4dx}{\int xy^2dx} = \frac{10a^2b^2x^3 + 15ab^2x^4}{10a\cdot 4abx^3 + 10a.} + \frac{6b^2x^5}{3bx^4}$$

$$= \frac{10a^2b + 15abx + 6bx^2}{40a^2 + 30ax}$$

Eſt ideo diſtantia centri oſcillationis a vertice in Conoide hyperbolico $\frac{15ax + 12x^2}{20a + 15x} + \frac{10a^2b + 15abx + 6bx^2}{40a^2 + 30ax}$

Quodſi fiat $x = a$, prodibit diſtantia Centri oſcillationis a vertice in Conoide hyperbolico, cujus altitudo axi transverſo æqualis, $\frac{15a^2 + 12a^2}{20a + 15a} + \frac{10a^2b + 15a^2b + 6a^2b}{40a^2 + 30a^2} = \frac{27}{35}a + \frac{31}{70}b$.

PROBLEMA 84.

465. *Determinare centrum oſcillationis in ſphæroide elliptico ex vertice, ſeu altero axis majoris extremo ſuſpenſo.*

RESOLUTIO.

Si axis transverſus fuerit a, parameter b; erit $y^2 = bx - \frac{bx^2}{a}$ (§. 420 *Analyſ.*), adeoque $y^4 = b^2x^2 - \frac{2bx^3}{a} + \frac{b^2x^4}{a^2}$. Reperitur ideo, uti in problemate præcedente (§. 464.),

$$\int x^2y^2dx = \frac{5abx^4 - 4bx^5}{20a}$$

$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = \frac{10a^2b^2x^3}{12a} - \frac{15ab^2x^4}{\cdot 10a} + 6b^2x^5$$

$$\int xy^2dx = \frac{4abx^3 - 3bx^4}{12a}$$

adeoque $\frac{\int x^2y^2dx}{\int xy^2dx} = \frac{15ax - 12x^2}{20a - 15x}$

$$\frac{\int \frac{1}{4}y^4dx}{\int xy^2dx} = \frac{10a^2b - 15abx + 6bx^2}{40a^2 - 30ax}$$

Eſt igitur diſtantia centri oſcillationis a vertice $\frac{15ax - 12x^2}{20a - 15x} + \frac{10a^2b - 15abx + 6bx^2}{40a^2 - 30ax}$.

Quodſi

Quodsi fiat $x = a$, prodit distantia centri oscillationis a vertice pro integro sphæroide circa axem majorem agitato $\frac{15a^2 - 12a^2}{20a - 15a} + \frac{16a^2b - 15a^2b}{40a^2 - 30a^2} = \frac{3}{5}a + \frac{1}{10}b$.

Si fiat axis minor $= c$, erit $b = c^2 : a$ (§. 423. *Analys.*), adeoque distantia centri oscillationis in Sphæroide $= \frac{3a}{5} + \frac{c^2}{10a}$.

PROBLEMA 85.

466. *Determinare centrum oscillationis in cono ex centro basis suspenso.*

RESOLUTIO.

Tab. II. Fig. 15. Sit semidiameter basis $BC = b$, $CP = x$, $AC = a$; erit $AP = a - x$, consequenter ob $AC : BC = AP : PM$ (§. 268. *Geom.*), $PM = y = (ab - bx) : a = b - bx : a$, $y^2 = b^2 - \frac{2b^2x}{a} + \frac{b^2x^2}{a^2}$ & $y^4 = b^4 - \frac{4b^4x}{a} + \frac{6b^4x^2}{a^2} - \frac{4b^4x^3}{a^3} + \frac{b^4x^4}{a^4}$. Habemus adeo (§. 454.):

$$x^2y^2dx = b^2x^2dx - \frac{2b^2x^3dx}{a} + \frac{b^2x^4dx}{a^2}$$

$$\tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}b^4dx - \frac{b^4xdx}{a} + \frac{6b^4x^2dx}{4a^2} - \frac{b^4x^3dx}{a^3} + \frac{b^4x^4dx}{4a^4}$$

$$xy^2dx = b^2xdx - \frac{2b^2x^2dx}{a} + \frac{b^2x^3dx}{a^2}$$

$$\int x^2y^2dx = \tfrac{1}{3}b^2x^3 - \frac{b^2x^4}{2a} + \frac{b^2x^5}{5a^2} = \frac{10a^2b^2x^3 - 15ab^2x^4 + 6b^2x^5}{30a^2}$$

$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}b^4x - \frac{b^4x^2}{2a} + \frac{b^4x^3}{2a^2} - \frac{b^4x^4}{4a^3} + \frac{b^4x^5}{10a^4}$$

$$= \frac{5a^4b^4x - 10a^3b^4x^2 + 10a^2b^4x^3 - 5ab^4x^4 + b^4x^5}{20a^4}$$

$$\int xy^2dx = \tfrac{1}{2}b^2x^2 - \frac{2b^2x^3}{3a} + \frac{b^2x^4}{4a^2} = \frac{6a^2b^2x^2 - 8ab^2x^3 + 3b^2x^4}{12a^2}$$

Est itaque distantia centri oscillationis a puncto suspensionis

$$\frac{20a^2x - 30ax^3 + 12x^3}{30a^2 - 40ax + 15x^2} + \frac{15a^4b^2 - 30a^3b^2x + 30a^2b^2x^2 - 15ab^2x^3 + 3b^2x^4}{30a^4x - 40a^3x^2 + 15a^2x^3}$$

Quodsi fiat $x=a$, erit distantia centri oscillationis a puncto suspensionis in cono integro =

$$\frac{20a^3 - 30a^3 + 12a^3}{30a^2 - 40a^2 + 15a^2} + \frac{15a^4b^2 - 30a^4b^2 + 30a^4b^2 - 15a^4b^2 + 3a^4b^2}{30a^5 - 40a^5 + 15a^5}$$
$$= \frac{2}{5}a + \frac{3b^2}{5a}.$$

Si altitudo coni fuerit semidiametro basis æqualis, erit $a=b$, adeoque $b^2:a=a$. Unde distantia centri oscillationis in Cono rectangulo a puncto suspensionis $\frac{2}{5}a + \frac{3}{5}a = a$.

PROBLEMA 86.

467. *Determinare centrum oscillationis in hemisphærio ex centro basis suspenso.*

RESOLUTIO.

Quoniam abscissæ hic computantur a centro, si radius circuli sit r, erit $y^2 = r^2 - x^2$ (§.377. *Anal.*) & $y^4 = r^4 - 2r^2x^2 + x^4$. Habemus itaque (§. 454.).

$$x^2y^2dx = r^2x^2dx - x^4dx$$
$$\tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}r^4dx - \tfrac{1}{2}r^2x^2dx + \tfrac{1}{4}x^4dx$$
$$xy^2dx = r^2xdx - x^3dx$$
$$\int x^2y^2dx = \tfrac{1}{3}r^2x^3 - \tfrac{1}{5}x^5 = \frac{5r^2x^3 - 3x^5}{15}$$
$$\int \tfrac{1}{4}y^4dx = \tfrac{1}{4}r^4x - \tfrac{1}{6}r^2x^3 + \tfrac{1}{20}x^5 = \frac{15r^4x - 10r^2x^3 + 3x^5}{60}$$
$$\int xy^2dx = \tfrac{1}{2}r^2x^2 - \tfrac{1}{4}x^4 = \frac{2r^2x^2 - x^5}{4}$$

Est itaque distantia centri oscillationis a puncto supensionis $\frac{20r^2x - 12x^3}{30r^2 - 15x^2} + \frac{15r^4 - 10r^2x^2 + 3x^4}{30r^2x - 15x^3}$, aut, reductione ad eandem denominationem facta, multiplicando primum membrum per x, $\frac{10r^2x^2 - 9x^4 + 15r^4}{30r^2x - 15x^3}$. Quodsi fiat $x=r$, prodibit distantia centri oscillationis a puncto suspensionis in hemisphærio integro $= \frac{10r^4 - 9r^4 + 15r^4}{30r^3 - 15r^3} = \frac{16}{15}r$.

SCHOLION.

468. *Non absimili modo inveniri potest centrum oscillationis Conoidis & sphæroidis dimidii ex centro basis suspensi. Potest etiam punctum suspensionis* h *extra figuram assumi, ut distantia ponduscuoli* P *ab axe oscillationis sit* Ph *atque ab abscissa figuræ* AP *differat quantitate* Ah, *veluti si figura oscillans ex filo suspendatur: quo in casu* Hugenius *reperit in sphæra ex filo tenui suspensa distantiam centri oscillationis esse longitudinem fili & radium atque duas quintas tertiæ proportionalis ad compositam ex semidiametro sphæræ ac longitu-* Tab. I. Fig. 9.

gitu-

-gitudine fili & semidiametrum ipsam (o), *hoc est, si filum* = l, *radius* = r, $l + r + \frac{2r^2}{5(l+r)}$

PROBLEMA 87.

469. *Determinare quantitatem pedis horarii.*

RESOLUTIO.

1. Horologium pendulo inter duas semicycloides suspenso & singulas oscillationes singulis minutis secundis aut eorum semissibus absolvente (§. 382.) instructum & secunda temporis scrupula indice peculiari monstrans ad motum stellarum ea ratione componatur, quæ inferius in Astronomia exponitur.
2. Globus plumbeus ex filo tenui suspensus (§. 377.) leniter impellatur, ut nonnisi exiguos arcus describat, quo singulæ oscillationes sint isochronæ (§. 383.) & tamdiu augeatur, vel minuatur fili longitudo, donec oscillationes singulis minutis secundis absolvantur.
3. Quoniam longitudo fili cum radio & duæ quintæ tertiæ proportionalis ad compositam ex semidiametro & longitudine fili atque semidiametrum ipsam definiunt distantiam centri oscillationis ab axe (§. 468.); earundem pars tertia quantitatem pedis horarii constituit (§. 425.).

SCHOLION 1.

470. Hugenius (p) *hoc modo invenit, pedem horarium esse ad Parisiensem ut 881 ad 864, hoc est, longitudo penduli simplicis oscillationes singulas singulis minutis secundis absolventis esse trium pedum Parisiensium cum octo lineis & dimidia. Monet autem pedem Parisiensem ad Rhenanum esse ut 144 ad 139, hoc est, quinque suis lineis diminui debere, ut alterum relinquat.*

SCHOLION 2.

471. *Quodsi gravitas omnibus in locis eadem esset; pes horarius mensura foret universalis & perpetua, quemadmodum* Hugenius *contendit: sed cum eandem variari nunc constet pro diversa ab æquatore distantia* (§. 390.); *nonnisi iis in locis eadem penduli simplicis minuta secunda metientis longitudo, quorum latitudines non nimis discrepant. Quo itaque mensura vere universalis haberetur, opus præterea esset, ut ratio longitudinum penduli prædicti in diversis latitudinibus una determinaretur. Nec hoc forte attentione omni prorsus indignum censeri debet, hactenus nec per experimenta constare, nec demonstratum esse, quod eodem in loco intra amplum temporis intervallum, veluti aliquot seculorum decursum, gravitas non mutetur.*

(o) in Horol. Oscill. part. 4. prop. 22. f. 142.
(p) Horol. Oscillat. part. 4. prop. 25. f. 152. & 153.

Digitized by Google

THEOREMA 63.

472. *Spatium descensus perpendicularis gravium intra minutum secundum temporis est ad semissem longitudinis penduli simplicis, cujus oscillationes minutis secundis respondent, in ratione duplicata peripheriæ ad diametrum circuli.*

DEMONSTRATIO.

Sit pes horarius ter sumtus seu longitudo penduli simplicis, cujus oscillationes minutis secundis horariis respondent (§. 425.) $= a$, tempus descensus per dimidiam illam longitudinem $= t$, altitudo quæsita $= x$, ratio diametri ad peripheriam $= d : p$; erit $t = d : p$ (§. 387.). Est vero $t^2 : 1 = \frac{1}{2} a : x$ (87) adeoque $t^2 x = \frac{1}{2} a$, hoc est, si valor ipsius t modo inventus substituatur, $d^2 x : p^2 = \frac{1}{2} a$ seu $d^2 x = \frac{1}{2} a p^2$. Ergo $x : \frac{1}{2} a = p^2 : d^2$. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

473. Quoniam $d : p = 113 : 355$ (§. 431. *Geom.*) & $a = 36'' 8\frac{1}{2}'''$ seu 737 linearum dimidiarum pedis Parisiensis (§. 470.); erit $x = ap^2 : 2d^2 = 881 . 126025 : 25538 = 2174''' = 15' 1'' 2'''$ seu $15' 1''$ quam proxime.

SCHOLION.

474. *Hæc cum experimentis accuratissimis prorsus convenire observavit* Hugenius (q).

CAPUT XI.
DE
MOTU PROJECTORUM.

DEFINITIO 49.

475. *Grave perpendiculariter projici* dicitur, si impellitur secundum lineam directionis, quæ ad horizontalem perpendicularis.

DEFINITIO 50.

476 *Grave horizontaliter projici* dicitur, si impellitur secundum lineam directionis horizontali apparenti parallelam.

DEFINITIO 51.

477. *Grave oblique projici dicitur*, si impellitur secundum lineam directionis, quæ cum horizontali apparente angulum efficit obliquum.

DEFINITIO 52.

478. *Angulus elevationis* RAB est, Tab.
quem efficit linea directionis cor- IV.
poris Fig.
50.

(q) in Horolog. Oscillat. part. 4. prop. 25. f. 155.

Digitized by Google

poris projecti AR cum linea horizontali AB.

THEOREMA 64.

479. *Si corpus grave perpendiculariter projicitur, perpendiculariter ascendit.*

DEMONSTRATIO.

Grave impellitur secundum lineam directionis, quæ ad horizontalem perpendicularis (§. 475.). Quare cum gravitas secundum eandem directionem vi impressæ resistat (§. 215.); directionem mutare nequit, sed motum tantum retardat (§. 77.). Grave igitur perpendiculariter projectum perpendiculariter ascendit (§. 71.). *Q. e. d.*

THEOREMA 65.

Tab. 480. *Si corpus grave horizontali-*
IV. *ter projicitur, motu suo parabolam*
Fig. *describit in medio non resistente.*
49.

DEMONSTRATIO.

Corpus enim projectum vi impressa uniformiter urgetur secundum rectam AR (§. 71.); sed vi gravitatis secundum rectam AC, quæ ad rectam AR lineæ horizontali *ex hypothesi* parallelam perpendicularis (§. 215.). Jam si vi impressa corpus pervenisset in Q, vi gravitatis descendit interea per QM, adeoque in M reperitur. Quoniam vero motus secundum directionem AR semper est uniformis, *per demonstr.* spatia QA & *q*A sunt ut tempora (§. 32.). Sed spatia QM & *qm* sunt ut temporum quadrata (§. 80.). Est ergo $AQ^2 : Aq^2 = QM : qm$, hoc est, $PM^2 : pm^2 = AP : Ap$ (§. 257. *Geom.*). Via igitur, quam grave horizontaliter projectum decurrit, AM*m* est parabola (§. 402. *Analys. fin.*) *Q. e. d.*

SCHOLION.

481. *Equidem cum gravia versus centrum telluris tendant (§. 213.), rectæ* QM *&* qm *in eodem concurrere debent, adeoque parallelæ non sunt* (§. 82. Geom.). *Enimvero si tota altitudo* AC, *per quam decidit grave secundum directionem* AR *projectum sit exigua admodum pars distantiæ a centro telluris (§. 216.); pro parallelis citra errorem experimento ullo definiendum haberi possunt.*

THEOREMA 66.

482. *Si corpus grave oblique sive* Tab.
sursum, sive deorsum projicitur in IV.
medio non resistente, motu suo para- Fig.
bolam describit. 50.

DEMONSTRATIO.

I. Sit linea directionis corporis sursum projecti AR. Cum corpus projectum, si gravitatis actio cessaret, eandem uniformiter describeret (§. 71.); positis AQ, Qq,

Qq, qh & hR, æqualibus, erunt AQ & Aq ut tempora (§. 32.). Quodsi AB sit linea horizontalis, & QM, qm &c. ita ducantur, ut continuatæ in T, t &c. sint ad AB perpendiculares; erunt QM, qm &c. altitudines, per quas vi gravitatis descendit interea corpus projectum, dum ex A in Q, q &c. pervenisset (§. 215.). Quare si AS ducatur ad AB perpendicularis; erit rectis QM, qm &c. psrallela (§. 356. *Geom.*). Ductis porro PM, pm &c. ipsi AR parallelis; erit PM = AQ, pm = Aq &c. AP = QM, Ap = qm &c. (§. 257. *Geom*), adeoque AP : Ap = $PM^2 : pm^2$, (§. 86.). Est igitur AMB parabola, cujus diameter AS (§. 416. *Analys. infinit.*). *Quod erat unum.*

Tab. IV. Fig. 51. II. Sit similiter linea directionis corporis deorsum projecti AR in partes æquales AQ, Qq &c. divisa & RS linea horizontalis. Ducta AS ad RS perpendiculari & QM, qm &c. eidem AS, PM vero, pm &c. ipsi AR parallelis: eodem, quo ante, modo demonstratur, esse AP : Ap = $PM^2 : pm^2$. Quare AMm denuo est parabola, cujus diameter AS (§. *cit. Analys. finit.*). *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM 1.

483. Est ergo parameter diametri parabolæ AS tertia proportionalis ad AP & PM, sive QM & AQ (§. *cit. Analys. finit.*), hoc est, ad spatium, per quod grave dato tempore descendit, & ad celeritatem spatio, quod vi impressa eodem tempore describit, definiendam (§. 14.).

COROLLARIUM 2.

484. Cum spatium uno minuto secundo a gravi quocunque perpendiculariter cadendo confectum notum sit, nempe $15\frac{1}{12}$ pedum Parisiensium (§. 473.); parameter diametri parabolæ describendæ invenitur, si spatii, quod uno minuto secundo projectile vi impressa percurrit, quadratum per $15\frac{1}{12}$ pedum Parisiensium dividatur (§. 302. *Arithm.*).

COROLLARIUM 3.

485. Si ergo velocitas projectorum eadem, spatia eodem tempore vi impressa descripta æqualia sunt (§. 33.), consequenter eadem parabolarum, quas motu composito percurrunt, parameter invenitur (§. 177. *Arithm.*).

COROLLARIUM 4.

486. Si a parametro diametri subtrahatur altitudinis *tm* sumtæ in axe *mt* quadruplum, parameter axis relinquitur (§. 416. *Analys. finit.*), cujus quarta pars est distantia verticis axis a foco parabolæ (§. 396. *Analys. finit.*). Parabola igitur describi potest, data celeritate projectorum & altitudine *tm* intercepta inter verticem *m* & lineam *AB* (§. 400. *Analys. finit.* & §. 484. *Mech.*).

COROLLARIUM 5.

487. Linea directionis projectilis AR para-

parabolam in A tangit (§. 414. 415. *Anal. finit.*).

DEFINITIO 53.

488. *Semita* est parabola, quam corpus horizontaliter vel oblique projectum describit.

DEFINITIO 54.

Tab. IV. Fig. 50. 489. *Amplitudo* (scilicet semitæ) est recta horizontalis AB semitam AMB subtendens.

THEOREMA 67.

490. *Projectile temporibus æqualibus per æqualia spatia horizontalia defertur.*

DEMONSTRATIO.

Sit AMB semita, AB amplitudo ejus, AR linea directionis projectilis in partes æquales AQ, Qq &c. divisa. Demittantur perpendiculares QT, qt &c. erunt AT, Tt &c. spatia horizontalia, per quæ projectile defertur, dum partes semitæ AM, Mm &c. percurrit. Quoniam projectile vi sola impressa uniformiter describeret rectas AQ, Qq &c. (§. 71.); AQ, Qq &c. sunt ut tempora (§. 31.). Est vero AQ : Qq = AT : Tt (§. 268. *Geom.*). Ergo AT & Tt sunt ut tempora, consequenter temporibus æqualibus etiam AT & Tt æquantur. *Q. e. d.*

PROBLEMA 88.

491. *Dato angulo elevationis* RAB *una cum amplitudine* AB, *invenire parametrum diametri* AS *semitæ* AMB.

RESOLUTIO.

Sit sinus anguli elevationis $= a$, cosinus $= b$, sinus totus $= t$, amplitudo AB $= c$, parameter $= x$. Si AR sumatur pro sinu toto, erit BR sinus, AB cosinus anguli elevationis RAB (§. 3. 11. *Trigon.*), adeoque

$$b : a = AB : BR$$
$$b : a = c : \frac{ac}{b}$$

Est itaque BR = AS (§. 257. *Geom.*) $= ac : b$.

Porro $b : t = AB : AR$
$$b : t = c : \frac{tc}{b}$$

Est itaque AR = SB (§. *cit.*) $= tc : b$.

Quare ob x. AS = SB^2 (§. 416. *Analyf. finit.*).

$$acx : b = c^2t^2 : b^2$$
$$ax = ct^2 : b$$
$$x = ct^2 : ab$$

Æquatio penultima in hanc resolvitur analogiam $a : \frac{t^2}{b} = c : x$. Est

vero $\frac{t^2}{b}$ secans anguli elevationis RAB (§. *26. Trigon.*). Habemus itaque sequens

Theorema. Amplitudo semitæ AB est ad parametrum diametri AS ut sinus anguli elevationis RAB ad ejus secantem.

COROLLARIUM 1.

492. Quoniam $ax = ct^2 : b$ (§. 491.), adeoque $2ax = 2ct^2 : b$ (§. *93. Arithm.*), erit etiam $2abx : 2t^2 = c$, consequenter $t : \frac{2ab}{t} = \frac{1}{2}x : c$. Est vero $2ab : t$ sinus dupli anguli elevationis BAR (§. *325. Analys. finit.*). Ergo semiparameter est ad amplitudinem AB ut sinus totus ad sinum dupli anguli elevationis.

COROLLARIUM 2.

493. Si eadem projectorum celeritas, parameter eadem est (§. 485.). Quare cum sit semiparameter semitæ in uno casu ad amplitudinem ut sinus totus ad sinum dupli anguli elevationis, & semiparameter semitæ in altero casu ad amplitudinem ut sinus totus ad sinum dupli anguli elevationis (§. 492.); amplitudines sunt ut sinus angulorum duplorum elevationis, celeritate projectorum existente eadem (§. *196. Arithm.*), & ratio sinus anguli dupli elevationis ad amplitudinem in hoc casu constans est (§. *173. Arithm.*).

THEOREMA 68.

494. *Si eadem maneat projectilis celeritas, amplitudo* AB *maxima est sub angulo elevationis* 45°: *æquales vero sunt amplitudines sub angulis elevationis a semirecto æqualiter differentibus.*

DEMONSTRATIO.

Cum ratio sinus anguli dupli elevationis ad amplitudinem constans sit, celeritate projectilis existente eadem (§. 493.); crescente sinu anguli dupli elevationis crescit amplitudo. Quare cum sinus anguli elevationis 45° dupli sit radius (§. *2. Trigon.*), quo major sinus non datur; maxima sit necesse est amplitudo sub sinu anguli elevationis 45°. *Quod erat unum.*

Jam cum idem sit sinus angulorum a recto æqualiter differentium, e. gr. 80° & 100° (§. *5. Trig.*), anguli autem dupli a recto æqualiter differant, si simpli a semirecto differant æqualiter; amplitudines eo in casu æquales sint necesse est (§. 493.). *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM.

495. Quoniam ut sinus totus ad sinum anguli elevationis dupli ita semiparameter ad amplitudinem (§. 492.), & sinus totus sinui anguli elevationis dupli æqualis, si is 45°; sub angulo elevationis 45° amplitudo semiparametro æquatur.

PROBLEMA 89.

496. *Data amplitudine maxima, determinare amplitudinem sub angulo ele-*

elevationis alterius cujuscunque, celeritate manente eadem.

RESOLUTIO.

Quoniam sinus totus est sinus dupli anguli elevationis, quando amplitudo maxima (§. 494.); fiat ut sinus totus ad sinum anguli dupli elevationis cuiuscunque alterius; ita amplitudo maxima ad quæsitam (§. 493.).

E. gr. sit jactus maximus, seu semirectus alicujus tormenti 6000 passuum & quæratur longitudo jactus graduum 30. Reperietur is 5196 passuum.

Log. sin. tot.	10.0000000
Log. sin 60.	9.9375306
Log 6000	3.7781512
Log quæs.	13.7156818, cui in tabulis respondent 5196.

PROBLEMA 90.

497. *Data celeritate projectilis invenire amplitudinem maximam.*

RESOLUTIO.

Cum celeritas projectilis datur per spatium, quod vi impressa dato tempore, e. gr. uno secundo minuto, percurrere valet; non alia re opus est, quam ut parameter semitæ inveniatur (§. 484.). Hujus enim semissis est amplitudo quæsita (§. 495.).

E. gr. Sit ea projectilis celeritas, qua intra unum minutum secundum 1000 pedes Parisienses seu 12000'' conficere valeat. Quodsi itaque 144000000 per 181 dividas, prodibit parameter semitæ maximæ 795580'' seu 66298 pedum. Ergo amplitudo maxima 33149. Quæ adeo intra hunc terminum constituta sunt, projectile attingere potest.

PROBLEMA 91.

498. *Data amplitudine maxima invenire celeritatem projectilis, seu spatium horizontale intra minutum secundum conficiendum.*

RESOLUTIO.

Cum duplum amplitudinis maximæ sit parameter semitæ (§. 495.); inter duplum amplitudinis maximæ & spatium, quod intra minutum secundum conficit grave perpendiculariter cadendo, nempe 181 digitorum, qualium 12 est pes Parisiensis, quæratur numerus medius continue proportionalis (§. 301. *Arithm.*) Is enim erit spatium a projectili intra unum minutum secundum conficiendum (§. 484.).

Si amplitudo maxima 500 pedum Parisiensium; erit parameter maxima 1000 pedum seu 12000 digitorum & hinc spatium quæsitum $= \sqrt{(12000.\ 181)} = 122$ pedum Parisiensium cum 9 unciis seu digitis.

PROBLEMA 92.

499. *Determinare altitudinem maximam tm, ad quam grave oblique projectum ascendit.* Tab. IV. Fig. 50.

Digitized by Google

RESOLUTIO.

Sit AB $= a$, BR $= b$, AT $= x$; erit $AR^2 = SB^2 = a^2 + b^2$ (§. 417. *Geom.*). Porro (§. 268. *Geom.*).

$$AB : BR = AT : TQ:$$
$$a : b = x : \frac{bx}{a}$$

$$AB^2 : BR^2 = AS^2 : AQ^2$$
$$a^2 : a^2 + b^2 = x^2 : \frac{a^2x^2 + b^2x^2}{a^2}$$

(§. 268. *Geom.* & §. 260. *Arithm.*). Et (§. 416. *Analys. finit.*).

$$SB^2 : AQ^2 = BR : QM.$$
$$a^2 + b^2 : \frac{a^2x^2 + b^2x^2}{a^2} = b : \frac{bx^2}{a^2}$$

Quare TM $= bx : a - bx^2 : a^2$. Cum vero *tm* sit maximum aliquod, *per hypoth.* erit (§. 63. *Anal. infinit.*).

$$bdx : a - 2bxdx : a^2 = o$$
$$ab - 2bx = o$$
$$ab = 2bx$$
$$\tfrac{1}{2}a = x$$

Theorema. Si amplitudo AB bifariam dividatur in *t* & ex puncto *t* erigatur perpendicularis *tm*; erit *tm* altitudo maxima, ad quam grave juxta directionem AR projectum ascendit.

THEOREMA 69.

500. *Si altitudo maxima* tm, *ad quam grave juxta directionem* AR *projectum ascendit, continuetur usque ad lineam directionis* AR; *erit recta* qm *inter semitam* AmB *& lineam directionis* AR *intercepta eidem aequalis: &, si in extremitate semitae erigatur perpendicularis* BR, *erit* tm $= \frac{1}{4}$BR.

DEMONSTRATIO.

Quoniam AB : At = AR : Aq (§. 268. *Geom.*), & At $= \frac{1}{2}$ AB (§. 499.); erit etiam A$q = \frac{1}{2}$AR. Est vero $AR^2 : Aq^2$ = BR : qm (§. 416. *Analys. fin.*). Quare cum $Aq^2 = \frac{1}{4}AR^2$, *per demonstrat.* erit quoque $qm = \frac{1}{4}$BR. *Quod erat unum.*

Sed, ob AB : At = BR : tq (§. 268. *Geom.*) & A$t = \frac{1}{2}$AB (§. 498.) $tq = \frac{1}{2}$BR, hinc $\frac{1}{2}tq = \frac{1}{4}$BR Est vero $qm = \frac{1}{4}$BR *per demonstr.* Ergo $qm = \frac{1}{2}tq$ (§. 87. *Arithm.*). $= tm$. *Quod erat alterum.*

PROBLEMA 93.

501. *Data amplitudine* AB *& angulo elevationis* BAR, *determinare altitudinem jactus maximam* tm.

RESOLUTIO.

Si AR sumatur pro sinu toto, erit BR sinus, AB cosinus anguli elevationis BAR (§. 3. 11. *Trigon.*). Quare si fiat ut cosinus anguli elevationis ad sinum ejusdem ita ampli-

Digitized by Google

plitudo AB ad quartum; reperietur BR, cujus quarta pars est altitudo jactus maxima tm (§. 500.).

COROLLARIUM.

502. Quoniam data celeritate projectilis amplitudo maxima (§. 497.) & inde porro amplitudo sub angulo elevationis quocunque invenitur (§. 496.); data celeritate, maxima quoque jactus altitudo inveniri potest (§. 501.).

THEOREMA 70.

Tab. IV. Fig. 90. 503. *Altitudo jactus* tm *est ad octavam parametri partem ut sinus versus anguli dupli elevationis ad sinum totum.*

DEMONSTRATIO.

Sit sinus anguli elevationis BAR $=a$, cosinus $=b$, sinus totus $=t$, parameter $=x$; erit amplitudo AB $=abx:t^2$ (§. 492.) & (§. 33. *Trigon*)

$$b:a = AB : BR$$

$$b:a = \frac{abx}{t^2} : \frac{a^2x}{t^2}$$

Ergo $tm = \frac{1}{4}$BR (§. 500.) $= a^2x : 4t^2 = 2a^2x : 8t^2$. Est vero $(b^2 - a^2) : t$ cosinus anguli dupli elevationis (§. 325. *Analys. finit.*) & hinc sinus versus ejusdem anguli dupli $t - (b^2 + a^2) : t$ (§. 2. *Trigon.*) $= (t^2 - b^2 + a^2) : t$ consequenter ob $t^2 - b^2 = a^2$ (§. 16. *Trig.*), idem sinus versus $= 2a^2 : t$. Est adeo ut t sinus totus ad $2a^2 : t$ sinum versum anguli dupli elevationis, ita $\frac{1}{8}x$ octava parametri pars ad altitudinem tm. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

504. Quoniam ut sinus totus ad sinum versum anguli dupli elevationis in uno casu, ita octava parametri pars ad altitudinem jactus & ut sinus totus ad sinum versum anguli dupli elevationis in altero quocunque casu, ita octava parametri pars ad altitudinem (§. 503.), velocitate autem existente eadem parameter quoque in diversis angulis elevationis eadem est (§. 485.); erunt altitudines jactuum sub diversis angulis elevationum ut sinus versi eorundem angulorum duplorum (§. 196. *Arithm.*).

COROLLARIUM 2.

505. Si sinus anguli elevationis in uno casu a, in altero c, velocitate existente eadem, altitudines jactuum sunt ut $a^2x : 4t^2$ ad $c^2x : 4t^2$ (§. 503.), hoc est, ut a^2 ad c^2 (§. 181. *Arithm.*), adeoque in ratione duplicata sinuum angulorum elevationum.

PROBLEMA 94.

506. *Data celeritate projectilis, altitudine feriendi* In *& ejus distantia horizontali* AI, *invenire jactus angulum elevationis.*

RESOLUTIO.

Cum data celeritate projectilis parameter diametri AS detur (§. 483.); sit ea $=a$. Sit præterea I$n = b$, AI$=c$, sinus totus $=t$, tangens anguli quæsiti $=x$. Quodsi

AI sumatur pro sinu toto, erit *bI* tangens anguli *b*AI (§. 7. *Trigon.*). Est itaque

$$t : x = AI : Ib$$
$$t : x = c : \frac{cx}{t}$$

Ergo $bn = Ar = cx : t - b$ & $rn^2 = acx : t - ab$ (§. 416. *Analys. finit.*). Est vero etiam $rn^2 = AI^2 + Ib^2$ (§. 417. *Geom.*) $= c^2 + c^2x^2 : t^2$. Quare

$$c^2 + c^2x^2 : t^2 = acx : t - ab$$
$$c^2x^2 : t^2 - acx : t = -ab - c^2$$
$$\tfrac{1}{4}a^2 \qquad\qquad \tfrac{1}{4}a^2$$
$$c^2x^2 : t^2 - acx : t + \tfrac{1}{4}a^2 = \tfrac{1}{4}a^2 - ab - c^2$$
$$cx : t - \tfrac{1}{2}a = \sqrt{(\tfrac{1}{4}a^2 - ab - c^2)}$$
$$cx : t = \tfrac{1}{2}a + \sqrt{(\tfrac{1}{4}a^2 - ab - c^2)}$$
$$x = [\tfrac{1}{2}a + \sqrt{(\tfrac{1}{4}a^2 - ab - c^2)}]t : c$$

Est igitur ut c ad $\frac{1}{2}a + \sqrt{(\frac{1}{4}a^2 - ab - c^2)}$ ita sinus totus t ad tangentem anguli elevationis quæsitum RAB.

COROLLARIUM 1.

507. Si $ab + c^2 = \frac{1}{4}a^2$, seu $\frac{1}{4}a = b + c^2 : a$ erit $x = at : 2c$, adeoque in hoc casu est $2c : a = t : x$, hoc est, ut dupla distantia objecti feriendi AI ad parametrum, ita sinus totus ad tangentem anguli elevationis.

COROLLARIUM 2.

508. Si $ab + c^2 > \frac{1}{4}a^2$; $\sqrt{(\frac{1}{4}a^2 - ab - c^2)}$ radix imaginaria evadit (§. 71. *Analys. finit.*), adeoque valor ipsius x est impossibilis (§. *cit.*). Quare in hoc casu data celeritate objectum attingi nequit.

THEOREMA 71.

509. *Tempora jactuum sub diversis elevationis angulis, velocitate existente eadem, sunt ut sinus angulorum elevationis.*

DEMONSTRATIO.

Si sinus totus $= t$, sinus anguli elevationis BAR $= a$, cosinus $= b$, parameter semitæ $= x$; erit secans anguli elevationis $= t^2 : b$ (§. 26. *Trigon.*), adeoque $\frac{t^2}{b} : a = x : AB$ (§. 491.), consequenter $AB = abx : t^2$. Quare cum sit (§. 33. *Trigon.*). Tab. IV. Fig. 50.

$$b : t = AB : AR$$
$$b : t = \frac{abx}{t^2} : \frac{ax}{t}$$

adeoque $AR = ax : t$; erit ut sinus totus t ad sinum anguli elevationis in casu uno ita parameter ad AR & ut sinus totus ad sinum anguli elevationis in casu alio ita parameter ad AR in casu alio. Quoniam vero celeritas in utroque casu eadem, *per hypoth.* parameter quoque eadem est (§. 485.). Ergo ut sinus angulorum elevationis

tionis ita sunt rectæ AR in diversis elevationum angulis (§. 196. *Arithm.*). Enimvero rectæ AR sunt spatia, quæ projectilia eadem celeritate uniformiter describunt, cessante gravitatis actione (§. 71.). Tempora igitur jactuum sunt ut ista spatia (§. 32.), consequenter ut sinus angulorum elevationis. *Q. e. d.*

PROBLEMA 95.

510. *Data celeritate projectilis una cum angulo elevationis* RAB, *invenire amplitudinem* AB, *altitudinem jactus* tm *& semitam* AmB *describere.*

RESOLUTIO.

1. Ad rectam horizontalem AB erigatur perpendicularis AD, quæ sit altitudo, unde projectile cadendo celeritatem datam acquirere valet (§ 92.).
2. Super AD describatur semicirculus AQD, lineam directionis AR secaturus in Q.
3. Per Q ducatur ipsi AB parallela C*m* fiatque CQ = Q*m*.
4. Ex puncto *m* demittatur ad AB perpendicularis *mt*.
5. Denique per verticem *m* describatur parabola A*m*B parametro 4CD (§. 393. *Analys. fin.*).

Dico hanc esse semitam quæsitam, 4CQ ejus amplitudinem & *tm* jactus altitudinem.

DEMONSTRATIO.

Cum anguli ad C & *m* sint recti *per constr.* & verticales ad Q æquales (§. 156. *Geom.*), sit etiam CQ = Q*m per constr.* erit *qm* = AC (§. 251. *Geom.*). Est vero *tm* = AC (§. 257. *Geom.*). Ergo *qm* = *mt* (§. 73. *Arithm.*), consequenter *tm* est altitudo jactus (§. 500.) & projectile parabolam A*m*B describit, cujus adeo amplitudo AB = 2A*t* (§. 499.) = 2C*m* = 4CQ, ob CQ = Q*m per constr.* *Quod erat primum, secundum & tertium.*

Denique quia A*t* = C*m* (§. 257. *Geom.*) = 2CQ; $At^2 = 4CQ^2$. = 4DC. AC (§. 327. 377. *Geom.*) = 4DC. *tm per demonstr.* Ergo 4DC est parameter parabolæ in vertice *m* (§. 388. *Analys. finit.*). *Quod erat ultimum.*

COROLLARIUM 1.

511. Data igitur projectilis celeritate, dantur amplitudines & altitudines omnium jactuum, qui fieri possunt, eadem opera. Ducta enim EA, erit sub angulo elevationis EAB altitudo AI, amplitudo 4IE; sub angulo elevationis FAB altitudo AH, amplitudo 4HF (§. 510.).

COROLLARIUM 2.

512. Cum AB sit ad AD perpendicularis *per hypothes.* circulum in A tangit (§. 304.

(*§. 304. Geom.*) & hinc angulus ADQ angulo elevationis RAB æqualis (*§. 323. Geom.*), consequenter AIQ est duplus anguli elevationis (*§. 313. Geom.*). Est itaque CQ quarta pars amplitudinis (§. 510.) sinus rectus; AC altitudo jactus (*§. cit.*) sinus versus anguli dupli elevationis (*§. 2. Trigon.*).

SCHOLION.

513. *Hinc facili opera deducuntur, quæ supra per analysin invenire docuimus, ut ejus in hisce usum ostenderemus.*

PROBLEMA 96.

Tab. IV. Fig. 50. 514. *Data altitudine jactus* tm *aut amplitudine* AB, *una cum angulo elevationis* RAB *invenire projectilis celeritatem, qua ab initio fertur, hoc est, altitudinem* AD, *unde cadendo istiusmodi celeritatem acquirere valet.*

RESOLUTIO.

Cum AC = *tm* sit sinus versus, CQ = ½ AB (§. 512.) sinus rectus anguli AIQ (§. *2. Trigon.*), quem esse anguli elevationis RAB duplum ex demonstratione §. 512. constat: quæratur ad sinum versum anguli dupli elevationis, sinum totum & altitudinem jactus: vel ad sinum rectum anguli dupli elevationis, sinum totum & quartam amplitudinis partem numerus quartus proportionalis: erit is radius IQ sive IA, cujus duplum AD est altitudo quæsita (§. 510.).

SCHOLION.

515. *Potuisset quoque curva projectionis analytice investigari & quidem in omni gravitatis hypothesi possibili: quod ut appareat, sequens subjungere lubet problema.*

PROBLEMA 97.

516. *Invenire curvam projectionis, directionibus gravium suppositis parallelis, in medio non resistente.*

RESOLUTIO.

1. Ponamus corpus grave horizontaliter projici secundum directionem AR, AMm esse curvam projectionis, AQ abscissam, QM semiordinatam, aut, si mavis AP abscissam, PM semiordinatam. Sit AP = QM = x, AQ = PM = y. Intelligatur semiordinata *pm* alteri PM infinite propinqua: erit arculus curvæ infinite parvus $Mm = \surd(dx^2 + dy^2)$, adeoque $Mm^2 = dx^2 + dy^2$ (§. *144. Analys. infinit.*). Quoniam projectile in medio non resistente movetur *per hypoth.* motus, quo vi impressa movetur æquabilis (§. 71.). Porro cum grave, dum motu composito per M*m* fertur (§. 241.), per spatiolum infinite parvum MO = P*p* descendens isto tempusculo etiam æqualiter movea- Tab. IV. Fig. 49.

vea-

veatur; erit tam MO, quam Om in ratione composita celeritatis & temporis (§. 34.). Quodsi ergo ponamus AQ sive PM exponere tempus (§. 31.); erit tempusculum, quo projectile per arculum *Mm* defertur, $= dy$. Fiat celeritas projectili impressa, quæ constans est, 1: erit *Om* ut *dy*. Sit porro celeritas a gravi cadendo in M acquisita $= v$; erit MO ut vdy. Habemus itaque Mm^2 ut $dy^2 + v^2dy^2$, consequenter

$$dy^2 + v^2dy^2 = dy^2 + dx^2$$

adeoque $v^2dy^2 = dx^2$

$$vdy = dx$$

$$dy = dx : v$$

$$y = \int v^{-1} dx$$

Data igitur celeritate v a gravi in M acquisita per x; reperietur æquatio ad curvam projectionis.

Jam in hypothesi *Galilæi* $v = \sqrt{x} = x^{1:2}$ (§. 87. 89.).

Ergo $dy = x^{-1:2} dx$
hoc est, $y = 2x^{1:2} = 2\sqrt{x}$

$$y^2 = 4x$$

Est ergo in hypothesi *Galilæana* Curva projectionis parabola, cujus parameter 4. (§. 388. *Anal. fin.*): quemadmodum superius demonstratum (§. 480.). Quoniam $x : y = y : 4$, hoc est, AP:PM = PM:4, QM : AQ = AQ : 4; parameter curvæ projectionis est tertia proportionalis ad spatium, quod in tempore quocunque grave cadendo conficit, & spatium, quod vi impressa describit: quemadmodum supra reperimus (§. 480.).

Sit in hypothesi *Baliana* v ut x; erit

$$dy = x^{-1} dx = \frac{dx}{x}$$

$$y = \int \frac{dx}{x}$$

$$= lx \text{ (§. 243. Analyf. infin.)}$$

Sunt igitur abscissæ AQ, Aq &c. ut logarithmi semiordinatarum QM, *qm* &c. consequenter curva projectionis est Logarithmica, cujus subtangens = 1 (§. 243. *Analyf. finit.*).

II. Quodsi directio AR fuerit ad horizontem AB obliqua, seu si grave oblique projiciatur (§. 477.), eodem modo solutio procedit. Ducatur *pm* ipsi AR parallela & intelligatur alia eidem infinite propinqua. Fiat Tab. IV. Fig. 50.

Digitized by

$Aq = pm = y$, $qm = Ap = x$; erit arculus infinite parvus curvæ projectionis semiordinatis istis interceptus $= \surd(dx^2 + dy^2)$, adeoque quadratum ejusdem $= dx^2 + dy^2$ ut ante. Sit celeritas constans, qua mobile fertur $= 1$. celeritas vero per $qm = Ap$ acquisita $= v$; tempusculo per arculum infinite parvum consumto in spatiolis dy & dx, erit $dy : dx = 1 : v$ (§. 38.), adeoque in hypothesi *Galilei* $dy : dx = 1 : x^{1:2}$. Prodit igitur ut ante

$$\frac{dx}{x^{1:2}} = x^{-1:2}\,dx = dy$$

$$2x^{1:2} = 2\surd x = y$$

$$4x = y^2$$

Unde patet in hoc quoque casu, curvam projectionis esse parabolam, quemadmodum supra ostendimus (§. 482.).

SCHOLION.

517. *Supposuimus directiones parallelas, propterea quod lineæ in centro Telluris concurrentes pro parallelis haberi possunt citra errorem assignabilem in iis distantiis, in quibus experimenta capere licet. Quod si tamen desideraveris problema solvi in hypothesi linearum directionis convergentium; solutionem dudum dedit Vir Summus* Newtonus (r)*: dederunt deinde Geometra Celeberrimus* Hermannus (s) *aliique ab eodem laudati* (t). *Nos sequentem subjungimus, ne quid in hoc argumento desiderari possit.*

PROBLEMA 98.

518. *Invenire curvam projectionis in hypothesi gravitatis cujuscunque directionibus in centro Telluris convergentibus.*

RESOLUTIO.

Sit curva projectionis AMR & Tab. linea directionis ex centro Tellu- XVI. ris C ducta CN. Intelligatur Cn Fig. radius ipsi CN infinite propin- 160. quus, & radio CA = CN = Cn descripto arcu AB, ducantur porro radiis CM & Cm arcus concentrici PM & pm. Sit denique AH altitudo, per quam grave cadendo acquirit eam celeritatem, qua vi impressa movetur, ac deinde per curvam AMR descendat vi impressa et velocitate vi gravitatis quomodocunque accelerata. Dicatur jam $AH = a$, $AP = x$, $CA = b$, arcus $AN = y$; erit $Pp = RM = dx$, $Nn = dy$, $PC = MC = mC$ (§. 4. *Analys. infin.*) $= b - x$. Porro propter sectores simi-

(r) in Princip. Philos. natur. Mathem. prop. 41. lib. 1.
(s) in Phoronomia lib. 1. prop. 23. §. 162.
(t) loc. cit. §. 164.

Digitized by Google

similes CNn & CRm, erit (§. 137. 412. *Geom.*).

$$CN : Cm = Nn : Rm$$
$$b : b-x = dy :$$

adeoque $Rm = (b-x)\,dy : b$

$$mR^2 = (b-x)^2\,dy^2 : b^2$$
$$MR^2 = dx^2$$
$$Mm^2 = \frac{b^2dx^2 + (b-x)^2dy^2}{b^2}$$

Sit jam celeritas, qua projectile urgetur per MR vi gravitatis, seu quæ cadendo per altitudinem AP acquiritur $= z$, altera vero, qua per arculum mM motu composito fertur, seu quæ cadendo per HP acquiritur $= v$. Quoniam in spatiolis infinite parvis Mm & RM motus æquabilis; MR : Mm $= z : v$ (§. 33.), consequenter

$MR^2 : Mm^2 = z^2 : v^2$ (§. 260. *Arithm.*)

hoc est, $dx^2 : \frac{b^2dx^2 + (b-x)^2\,dy^2}{b^2} = z^2 : v^2$

$$b^2dx^2 : b^2dx^2 + (b-x)^2dy^2 = z^2 : v^2$$
$$v^2b^2dx^2 = b^2z^2dx^2 + (b-x)^2z^2dy^2$$
$$v^2b^2dx^2 - b^2z^2dx^2 = (b-x)^2z^2dy^2$$
$$bdx\sqrt{(v^2-z^2)} = zdy(b-x)$$
$$dy = \frac{bdx\sqrt{(v^2-z^2)}}{z(b-x)}$$
$$y = \int\frac{bdx\sqrt{(v^2-z^2)}}{z(b-x)}$$

Quodsi jam valor ipsius v atque z exprimatur per x ex hypothesi gravitatis; prodibit æquatio ad curvam projectionis specialem.

In hypothesi *Galileana* $v = \sqrt{HP} = \sqrt{(a+x)}$ & $z = \sqrt{AP} = \sqrt{x}$ (§. 87. 89.). Substitutis itaque hisce valoribus in æquatione differentiali generali; prodit specialis

$$dy = \frac{bdx\sqrt{(a+x-x)}}{(b-x)\sqrt{x}} = \frac{b\,dx\sqrt{a}}{(b-x)\sqrt{x}}$$

Pendet adeo *constructio* hujus curvæ a Quadratura alterius curvæ, cujus abscissa x, semiordinata vero $ab\sqrt{a} : (b-x)\sqrt{x} = a^2b : (b-x)\sqrt{ax}$. Nimirum si areæ hujus curvæ dividuntur per a, seu rectam AH, unde projectile acquirit celeritatem, qua a vi impressa movetur; prodeunt arcus respondentes HN eo modo, quem jam exposuimus, cum de curva isochrona in hypothesi directionum

in centro Telluris convergentium ageremus (§. 336.). Construitur autem Curva, a cujus quadratura pendet constructio Curvæ projectionis, ope parabolæ circa axem AC parametro AH descripta, ut semiordinata abscissæ AP respondens sit $\sqrt{ax} =$ PS. Est enim ut PS ad AH ita AH ad tertiam proportionalem & ut CP ad CA ita tertia hæc proportionalis ad semiordinatam Curvæ quadrandæ.

Fiat $b = \infty$: quo in casu directiones gravium evadunt parallelæ; erit x respectu $b = 0$, adeoque $b - x = b$, consequenter

$$dy = \frac{b\,dx\sqrt{a}}{(b-x)\sqrt{x}} = \frac{b\,dx\sqrt{a}}{b\sqrt{x}} = \frac{dx\sqrt{a}}{\sqrt{x}} = a^{1:2}x^{-1:2}dx$$

$$y = 2a^{1:2}x^{1:2} = 2\sqrt{ax}$$

$$y^2 = 4ax$$

Est igitur curva projectionis in hoc casu parabola (§. *388. Analys. fin.*), quemadmodum ante repperimus (§. 516.) & parameter $4a$ est quadrupla altitudinis AH, unde cadendo projectile eam acquirit celeritatem, qua projicitur.

SCHOLION.

519. *Curva projectionis* Trajectoria *appellari solet, qua denominatione quoque utitur* Newtonus.

CAPUT XII.

DE MOTU CORPORUM EX PERCUSSIONE.

DEFINITIO 55.

520. *Corpus perfecte durum* est, quod ab ictu figuram non mutat. *Corpus molle* autem est, quod ab ictu figuram pristinam amittit, ut argilla, sebum, cera.

DEFINITIO 56.

521. *Corpus elasticum* est, quod ab ictu figuram quidem mutat, sed vi propria in eandem rursus restituitur. Talis est ensis, qui ad

Digitized by Google

ad ictum incurvatur, sed statim resilit in figuram pristinam.

DEFINITIO 57.

522. *Corpus unum in alterum directe impingere* dicitur, si impingit secundum rectam ad contactum perpendicularem.

COROLLARIUM.

Tab. IV. Fig. 53. 523. Sphæra igitur A directe in alteram B impingit, si linea directionis centra B utriusque jungit (§. 38. *Analys. infinit.*).

DEFINITIO 58.

524. *Corpus unum in alterum indirecte* vel *oblique impingere* dicitur, si impingit secundum rectam ad contactum obliquam.

DEFINITIO 59.

525. *Centrum percussionis* est punctum, in quo ictus est maximus.

AXIOMA 8.

526. *Actioni æqualis, sed contraria est reactio.*

SCHOLION.

527. *Hoc legum motus principium ab experientia petitur & a celeberrimo* Newtono (u) *bis exemplis illustratur.* „ Si „ quis, *inquit*, lapidem digito premit, „ premitur & hujus digitus a lapide. Si „ equus lapidem funi allegatum trahit, „ retrahetur etiam et equus æqualiter „ in lapidem: nam funis utrinque di„ stentus eodem relaxandi se conatu „ urgebit equum versus lapidem ac la„ pidem versus equum, tantumque im„ pediet progressum unius, quantum „ promovet progressum alterius. Si „ corpus aliquod in corpus aliud impin„ gens, motum ejus vi sua quomodo„ cunque mutauerit, idem quoque vi„ cissim in motu proprio eandem muta„ tionem in partem contrariam vi alte„ rius (ob æqualitatem pressionis mu„ tuæ) subibit.

THEOREMA 71.

528. *Effectus pleni sunt viribus causarum suarum proportionales.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam nihil est sine ratione sufficiente, cur potius sit, quam non sit (§. 25.) vis determinata indifferens non est, adeoque ipsi determinata effectus quantitas ex necessitate respondet. Quare si vis V ut V, seclusa omni vi alia sive adjuvante, sive impediente, effectum E ut E producit; etiam alia V ut V effectum E ut E producet, consequenter *m*V ut *m*V (ubi *m* notat multiplum aut submultiplum ipsius V) producet ef-

 fectum

(u) Princip. Mathemat. Philosoph. Natural. pag. 13. conf. Cosmologia nostra generalis §. 316. 346.

fectum mE ut mE. Est igitur V: $mV = E : mE$ (§. 149. *Arithm.*) hoc est, effectus pleni sunt viribus suarum causarum proportionales. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

529. Vires igitur motum producentes si fuerint æquales, eandem motus quantitatem producunt (§. 528.) addendam mobili secundum eandem directionem progredienti (§. 76.), subtrahendam vero, si secundum contrariam progredi nitatur (§. 77.).

THEOREMA 72.

Tab. IV. Fig. 53. 530. *Si corpus unum A in alterum B vel quiescens vel tardius motum secundum eandem directionem, vel etiam secundum contrariam ipsi obvium factum impingat; summa motuum in corporibus secundum eandem directionem motis, differentia eorundem in motis juxta contrarias eadem erit ante & post ictum.*

DEMONSTRATIO.

Ponamus A & B moveri juxta eandem directionem, sitque quantitas motus ipsius A $= a$, ipsius B $= b$, erit summa motuum ante ictum $= a + b$. Si A acceleret motum ipsius B juxta ejusdem directionem in conflictu, incrementum quoddam motus efficit (§. 22.). Quare cum B eadem vi reagat in A, qua A agit in B (§. 526.), ob contrarias virium æqualium directiones tantum motus subtrahitur ex A, quantum additur ipsi B (§. 529.). Unde si quantitas motus ipsius B fuerit post ictum $= b + c$; erit quantitas motus ipsius A post ictum $= a - c$. Summa igitur motuum $b + c + a - c = b + a$ eadem post ictum, quæ ante ictum. Si B quiescit, erit motus quantitas ante ictum $= o$, adeoque motuum summa $= a$. Sed si post ictum quantitas motus ipsius B $= c$, *per demonstrata* quantitas motus ipsius A $= a - c$. Unde denuo summa motuum eadem ante & post ictum, hoc est, $= a$.

Si fuerit $c > a$: reactione ipsius B, qua efficitur motus $c - a$, destruitur quantitas motus a & efficitur motus secundum directionem contrariam impulsi corporis A $= c - a$. Differentia igitur motuum post ictum in corporibus B & A secundum contrarias directiones motis $= b + a + c - c$ eadem est quæ summa ante ictum $a + b$.

Si $c = a$, reactione ipsius B destruitur motus in A, adeoque corpus A quiescit & B versus eandem plagam solum progreditur. Unde

Digitized by Google

Unde denuo ſumma motuum poſt ictum $a + b + o$ æquatur ſummæ ante ictum $a + b$.

Si corpora A & B ſibi mutuo occurrant, erit differentia motuum $a - b$. Sit poſt conflictum quantitas motus ipſius $B = c$: deſtruitur ergo per actionem A motus b & efficitur c. Reactione igitur ipſius B in A deſtruitur motus $b + c$, adeque poſt conflictum remanet motus $a - b - c$. Quodſi $a > b + c$, progrediuntur A & B poſt conflictum juxta eandem directionem eſtque ſumma motuum $a - b - c + c$ eadem quæ differentia $a - b$ ante ictum.

Quodſi $c + b > a$, deſtruitur reactione ipſius $B = c + b$ motus a & efficitur ſecundum contrariam directionem motus $c + b - a$, adeoque B & A reſiliunt ſecundum directiones contrarias. Differentia igitur motuum poſt ictum $c - c - b + a$ eadem eſt, quæ fuerat ante ictum $a - b$.

Denique ſi $b + c = a$, reactione ipſius B deſtruitur motus totus in A, qui adeo poſt ictum $= o$. Unde ſumma motuum $c = a - b$ eadem quæ differentia eorundem ante ictum.

THEOREMA 73.

Tab. IV. Fig. 53.

531. *Si duo corpora* A *&* B *pondere æqualia & non elaſtica, æqualibus celeritatibus lata, ſibi mutuo occurrunt, poſt ictum ambo quieſcunt.*

DEMONSTRATIO.

Cum enim corporum A & B maſſæ atque celeritates æquales ſint *per hypoth.* motuum quantitates æquales ſunt (§. 22.). Eorum itaque differentia ante ictum nulla eſt. Quodſi poſt ictum ſecundum eandem directionem progrederentur, ſumma motuum deberet eſſe nulla (§. 530.), ſecundum eandem igitur progredi nequeunt. Sed cum ſecundum contrarias ſe mutuo urgeant eadem vi, nec ulla ſit ratio, cur a ſe invicem reſiliant, *per hypoth.* ſecundum directiones contrarias moveri nequeunt. Poſt ictum ergo ambo quieſcunt. *Q. e. d.*

THEOREMA 74.

532. *Si corpus elateris expers* A *in aliud itidem non elaſticum* B *directe incurrat, nec per conflictum motus extinguatur; poſt ictum ambo eadem celeritate moventur ſecundum eandem directionem.*

DEMONSTRATIO.

Si enim A incurrat in B ſive quieſcens, ſive ſegnius motum, urgebit ipſum ſecundum directionem ſuam, adeoque cum nulla adſit

adsit ratio, cur a se iuvicem resiliant, *per hypoth.* si A vincat, B necessario movebitur secundum directionem ipsius. *Quod erat unum.*

Quodsi jam A & B secundum eandem directionem progrediuntur, B tardius moveri nequit quam insequens A. Cum vero eandem celeritatem adipiscitur, quam habet ipsum A, motui ejus non amplius resistit adeoque fugit, consequenter ambo eadem celeritate progrediuntur. *Quod erat alterum.*

THEOREMA 75.

Tab. IV. Fig. 53. 533. *Si corpus elateris expers A in aliud non elasticum B quiescens directe incurrat, celeritas post ictum est ad celeritatem ante ictum ut pondus ipsius A ad ponderum A & B summam.*

DEMONSTRATIO.

Sit massa ipsius $A = M$, alterius $B = m$, celeritas prioris $= C$: erit quantitas motus ipsius $A = MC$ (§. 22.), ipsius B vero nulla, adeoque motuum summa post ictum $= MC$ (§. 530.), consequenter celeritas $= MC : (M + m)$ (§. 532. 22.). Est adeo ut $M + m$ ponderum summa ad M pondus moti, ita C celeritas ante ictum ad celeritatem post ictum. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

536. Quodsi corpora A & B fuerint ejusdem ponderis; erit $M = m$, adeoque celeritas post ictum $= MC : 2M = \frac{1}{2}C$. Moventur itaque celeritate dimidia ejus, qua A ferebatur ante conflictum.

THEOREMA 76.

535. *Si corpus elateris expers A in aliud non elasticum B tardius motum secundum eandem directionem directe impingat; erit celeritas post ictum æqualis motuum summæ per ponderum summam divisæ.*

DEMONSTRATIO.

Sint corporum A & B massæ M & m, celeritates C & c; erit motus quantitas ante conflictum MC & mc (§. 22.), adeoque summa eorundem $MC + mc$: quæ cum eadem sit post conflictum (§. 530.), erit celeritas communis corporum A & B post eundem $(MC + mc) : (M + m)$ (§. 22.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

536. Si pondera corporum A & B fuerint æqualia, erit $M = m$, adeoque celeritas post ictum $M (C + c) : 2M = (C + c) : 2$, seu semisumma celeritatum ante ictum.

THEOREMA 77.

537. *Si duo corpora non elastica, pondere æqualia, diversis celeritatibus lata, sibi mutuo directe occurrant, post conflictum feruntur celerita-*

ritatum semidifferentia, qua movebantur ante ictum.

DEMONSTRATIO.

Sit massa communis = M, celeritates sint ut C & *c*; erit differentia motuum M (C − *c*): cui cum æqualis sit post conflictum summa eorundem (§. 530.), erit celeritas communis = M (C − *c*): 2M = (C − *c*): 2. hoc est, æqualis velocitatum ante impactum semidifferentiæ. *Q. e. d.*

THEOREMA 78.

Tab IV. Fig. 53. 538. *Si duo corpora non elastica* A *&* B *iis celeritatibus sibi mutuo directe occurrant, quæ sunt reciproce ut pondera eorundem; ambo post ictum quiescunt.*

DEMONSTRATIO.

Sint enim massæ M & *m*, celeritates C & *c*; quoniam M : *m* = *c* : C, *per hypoth.* erit *mc* = MC, adeoque motuum differentia ante conflictum nulla (§. 22.). Ergo summa motuum post ictum cum nihilo æqualis sit (§. 530.); nullus quoque post ictum erit motus, hoc est, ambo quiescunt. *Q. e. d.*

THEOREMA 79.

539. *Si duo corpora non elastica* A *&* B *eadem celeritate sibi mutuo directe occurrunt; erit celeritas post impactum ad celeritatem ante eundem ut ponderum differentia ad summam eorundem.*

DEMONSTRATIO.

Sit communis celeritas = C, massæ corporum A & B ut M & *m*; erit differentia motuum ante impactum (M − *m*) C (§. 22.). Huic cum æqualis sit summa motuum post impactum (§. 530.); erit velocitas communis post eundem = (M − *m*) C : (M + *m*) (§. 22.), hoc est, ut ponderum summa ad differentiam eorundem ita celeritas ante ictum ad celeritatem post ictum. *Q. e. d.*

THEOREMA 80.

540. *Si duo corpora non elastica* A *&* B *quacunque celeritate sibi mutuo directe occurrunt; erit celeritas post ictum æqualis semidifferentiæ motuum per summam ponderum divisæ.*

DEMONSTRATIO.

Sint corporum A & B massæ M & *m*, celeritates C & *c*; erit differentia motuum ante ictum MC − *mc* (§. 22.). Huic cum æqualis sit summa motuum post impactum (§. 530.); erit velocitas communis post eundem (MC − *mc*) : (M + *m*) (§. 22.). *Q. e. d.*

PROBLEMA 102.

541. *Determinare partem motus in conflictu amissam a fortiori.*

RESOLUTIO.

1. Celeritas, qua movetur corpus ante conflictum, ducatur in massam ejus, ita habebitur quantitas motus ante conflictum (§. 22.).

2. Similiter celeritas, qua idem fertur post conflictum, ducatur in massam ejus, ita habebitur quantitas motus post conflictum (§. *cit.*).

3. Quodsi motuum quantitatem posteriorem a priori auferas, relinquetur pars amissa.

E. gr. Si duo corpora æqualis ponderis sibi mutuo occurrant celeritatibus C & *c*, erit celeritas post conflictum = $\frac{1}{2}$C — $\frac{1}{2}c$ (§ 537.) Ergo motus quantitas post conflictum est $\frac{1}{2}$MC — $\frac{1}{2}$M*c*. Sed ante conflictum erat in fortiori = MC. Motus ergo amissus est $\frac{1}{2}$MC + $\frac{1}{2}$M*c*. Quare motus integer ad partem amissam ut MC ad $\frac{1}{2}$MC + $\frac{1}{2}$M*c*, hoc est, ut 2 C ad C + *c*, seu ut dupla celeritas fortioris ad summam celeritatum ante conflictum.

SCHOLION.

542. *Hac ergo methodo inveniri possunt theoremata de quantitate motus in conflictu amissa & inde magnitudinem ictus æstimare licet.*

DEFINITIO 61.

543. *Impetum* cum *Leibnitio* (x) appello quantitatem motus, seu id quod efficitur ducendo massam in celeritatem (§. 22.), quodque adeo vi mortuæ æquipollet (§. 278.).

AXIOMA 9.

544. *Si corpus aliquod non elasticum in obicem, qui cedere nequit, impingit, motus omnis cessat.*

COROLLARIUM.

545. Si ergo corpus quoddam non elasticum in obicem cedere nescium impingit; impetum omnem amittit (§. 543.).

SCHOLION.

546. *Propositio per experientiam satis manifesta, ut adeo eam instar axiomatis sumere licuerit, nec opus sit ex notione elateris deficientis eam demum deduci.*

THEOREMA 81.

547. *Centrum percussionis idem est cum centro oscillationis, si corpus percutiens circa punctum fixum rotatur.*

DEMONSTRATIO.

Centrum enim percussionis est punctum, in quo colligitur impetus omnis, seu circa quod impetus partium utrinque æquilibrantur (§. 525.). Invenitur adeo si impetus partium considerentur instar ponderum ad lineam inflexilem ac gravitatis expertem applica-

(x) in Actis Erudit. A. 1695. p. 154.

Digitized by Google

plicatorum, hoc eſt, dividendo ſummam factorum ex impetibus partium in diſtantias a puncto ſuſpenſionis per ſummam impetuum (§. 156.). Sed eodem modo invenitur centrum oſcillationis (§. 431.). Ergo centrum oſcillationis idem eſt cum centro percuſſionis, ſi corpus percutiens circa punctum fixum rotatur. *Q. e. d.*

SCHOLION.

548. *Quæ igitur ſupra de centro oſcillationis dicta ſunt, eadem quoque de centro percuſſionis valent, ſi grave percutiens circa punctum fixum rotetur.*

THEOREMA 82.

549. *Centrum percuſſionis idem eſt cum centro gravitatis, ſi corporis percutientis partes omnes motu parallelo feruntur ſeu eadem celeritate moventur.*

DEMONSTRATIO.

Impetus enim ſunt facta ex ponderibus in celeritates (§ 543.). Quare ſi æquiponderantia per eandem celeritatem multiplices, perinde eſt ac ſi eorum æque multiplicia ſumas. Sed æquiponderantium æquemultiplicia quoque æquiponderant (nam ſi A æquiponderet ipſi B, etiam 2A ipſi 2B & in genere *m*A ipſis *m*B æquiponderare intelliguntur.). Ergo circa centrum gravitatis impetus æquivalentes diſponuntur, conſequenter centrum gravitatis cum centro percuſſionis in hoc caſu coincidit.

DEFINITIO 62.

550. *Angulus incidentiæ* DCA eſt, quem linea directionis corporis impingentis DC efficit ad punctum contactus C. Tab. IV. Fig. 52.

DEFINITIO 63.

551. Quodſi poſt ictum reflectitur, *Angulus reflexionis* ECF vocatur, quem linea directionis corporis reflexi EC efficit ad punctum contactus, unde reſilit.

THEOREMA 83.

552. *Ictus perpendicularis eſt ad obliquum ut ſinus totus ad ſinum anguli incidentiæ* DCA.

DEMONSTRATIO.

Demittatur ad AB perpendicularis DG, nempe in ipſum obicem, ſi ſupeficies plana, aut in rectam, quæ eundem in contactu C tangit, ſi ſuperficies curva, & compleatur rectangulum DGCH. Vis, qua urgetur corpus per DC, æquivalet viribus juxta directiones DH & DG agentibus (§. 241. 245.). Quare cum obex AB non opponatur directioni DH, ſed tantum alteri DG; perinde eſt ac

si corpus D tantum percuteret obicem vi secundum DG agente. Æstimatur vero magnitudo ictus ex impetu in conflictu amisso (§. 542.), impetus vero ex quantitate motus (§ 543.) adeoque cum corpus idem sit, ex celeritate (§. 49.), consequenter ex longitudine linearum DG, DH, DC (§. 247.). Est adeo impetus corporis D per DC ad impetum per DG ut DC ad DG. Jam dum corpus oblique impingit, destruitur tantum ab obice impetus per DG, *per demonstrat.* si vero perpendiculariter seu directe impingeret, destrueretur impetus totus per DG & DH (§. 545.), hoc est, per DC (§. 241.). Est ergo ictus perpendicularis ad obliquum ut DC ad DG. Sed si DC sumatur pro sinu toto, erit DG sinus anguli incidentiæ DCG (§. 2. *Trig.*). Ictus itaque perpendicularis, ad obliquum ut sinus totus ad sinum anguli incidentiæ. *Q. e. d.*

THEOREMA 84.

553. *Elater est æqualis vi comprimentis aut tendentis, quamdiu corpus adhuc comprimi potest.*

DEMONSTRATIO.

Corpus elasticum adhuc ulterius comprimi aut tendi potest, nec tamen comprimitur aut tenditur *per hypoth.* Ergo tanta vi resistit, quanta comprimitur vel tenditur (§. 75.). Resistit autem vi elateris (§. 521.): adeoque elater æqualis est vi comprimentis aut tendentis. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

554. Æquatur itaque etiam vi percutientis, quæ ad corpus elasticum tendendum aut comprimendum requiritur.

THEOREMA 85.

555. *Si corpus* H *in obicem* AB, *qui cedere nescit, directe impingat, sitque vel utrumque, vel alterutrum elasticum, eadem celeritate reflectitur per eandem rectam* CH, *qua advenerat.* Tab. IV. Fig. 52.

DEMONSTRATIO.

Si elater abesset, tota vis corporis B in resistentiam obicis frangendam insumeretur, motusque cessaret (§. 544.). Ergo vis omnis impenditur in compressionem corporis elastici, atque adeo hoc acquirit vim elasticam isti æqualem (§. 553.). Cum igitur elater, absumta vi comprimente, corpus reducat in statum pristinum, eadem vi illud repellit, qua impegerat, consequenter hoc eadem celeritate resilit. Et quoniam corpus elasticum se restituit secundum directionem, secundum quam

Digitized by Google

quam compressum fuerat (nulla enim adest ratio, quæ directionem immutet); corpus resilit per eandem rectam CH, per quam advenerat (§. 71.). *Q. e. d.*

THEOREMA 86.

Tab. IV. Fig. 52. 556. *Si corpus elasticum* D *oblique impingit in obicem* AB, *qui cedere nescit, ita post ictum resilit, ut angulus reflexionis sit æqualis angulo incidentiæ.*

DEMONSTRATIO.

Patet ex demonstratione theorematis 83. (§. 552.) vim per DC æquipollere viribus per DG & DH & in ictu tantum impendi vim per DG. Cum adeo post ictum remaneat vis per DH sive CF & per vim elasticam recuperetur vis per DG sive CH (§. 555.); corpus post ictum iisdem viribus urgetur per CF & CH, quibus urgebatur ante conflictum, adeoque motu composito describet rectam CE dato tempore ipsi DC æqualem, eruntque eodem tempore HE & DH æquales vtpote ab eadem vi descriptæ (§. 241.). Sunt igitur △△ DCH & CHE æqualia anguli que cognomines æquales (§. 204. *Geom.*), consequenter, cum HCA = HCF (§. 79. *Geom.*), DCA = ECF (§. 91. *Arithm.*). *Q. e. d.*

PROBLEMA 100.

557. *Determinare angulum* ECF, *sub quo resilire debet corpus in* C *oblique impingens, ut ex* D *in* E *via brevissima perveniat, supposita nempe reflexione in* C. Tab. IV. Fig. 52.

RESOLUTIO.

Demissis ex D & E perpendicularibus DG & EF, fiat DG $= a$, EF $= b$, FG $= c$, CG $= x$, erit CF $= c - x$, DC$^2 = aa + xx$, CE$^2 = bb + cc - 2cx + xx$. Quoniam DC + CE est minimum aliquod *per hypoth.* fiat (§. 63. *Analys. infin.*).

$$\surd(aa + xx) + \surd(bb + cc - 2cx + xx) = y$$

$$\text{erit } \frac{xdx}{\surd(aa+xx)} + \frac{xdx - cdx}{\surd(b^2 + c^2 - 2cx + x^2)} = dx = 0$$

$$x\surd(b^2 + c^2 - 2cx + x^2) + (x - c)\surd(a^2 + x^2) = 0$$

$$x\surd(b^2 + c^2 - 2cx + x^2) = (c - x)\surd(a^2 + x^2)$$

Hoc est, CG . CE = CF . CD

Est itaque CG : CD = CF : CE (§. 299. *Arithm.*). Quodsi ergo DC sumatur pro sinu toto, erit GC sinus anguli GDC, & si CE suma-

ſumatur pro ſinu toto, erit CF ſinus anguli CEF (§. 2. *Trigonom.*). Sunt ergo GC & CF arcuum ſimilium ſinus (§. 12. *Trigon.*), adeoque anguli GDC & CEF (§. 141. *Geom.*), conſequenter & eorum complementa ad rectos DCG & ECF (§. 246. *Geom.*) æquantur.

COROLLARIUM.

558 Quoniam corpus D poſt impactum in C ita reſilit, ut angulus reflexionis ECF ſit æqualis angulo incidentiæ DCG (§. 556.); ex D in E, ſuppoſita reflexione in C, via breviſſima pervenit.

PROBLEMA 101.

Tab. IV. Fig. 52. 559. *Determinare punctum* C, *in quod impingere debet corpus* D, *ut reſiliens incurrat in corpus* L.

RESOLUTIO.

Dato puncto D, datur DG perpendiculum $= a$. Dato puncto L, datur perpendiculum LI $= b$, conſequenter GI $= c$. Fiat GC $= x$, erit CI $= c - x$. Et quia angulus LCI = DCG (§. 556.), G vero & I recti, *per conſtr.* erit (§. 267. *Geom.*).

$$DG : LI = GC : CI$$
$$a : b = x : c - x$$

Ergo $a + b : a = c : x$ (§. 190. *Arith.*) hoc eſt, DG + LI : DG = GI : GC. Data igitur recta DC, datur etiam punctum C.

THEOREMA 87.

560. *Si corpus elaſticum* A *in aliud quieſcens* B *eidem æquale directe incurrat poſt ictum quieſcet* A; *&* B *movebitur ea celeritate, qua ante ictum ferebatur* A. Tab. IV. Fig. 53.

DEMONSTRATIO.

Si corpora non eſſent elaſtica, utrumque poſt ictum moveretur ſecundum eandem directionem celeritate dimidia (§. 534.). Sed cum vis elaſtica ſecundum eam directionem agat, ſeundum quam facta eſt compreſſio ſitque vi comprimenti æqualis (§. 553.); dimidia celeritate repellit A adeoque motum ejus ſiſtit; B vero dimidia celeritate ulterius impellit adeoque motum ejus accelerat (§. 76). Fertur itaque poſt ictum celeritate integra, qua ante ictum ferebatur A, & A quieſcit. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

561. Cum adeo A omnem ſuam vim transferat in B, B eodem modo eandem in C, C rurſus in D & D tandem in E transferre debet. Quare ſi fuerint plura corpora elaſtica pondere æqualia & ſe mutuo tangentia; atque A impingat in B, quieſcentibus omnibus intermediis, mo- Tab. IV. Fig. 54.

movetur ultimum E ea celeritate, qua impegerat A.

THEOREMA 88.

Tab. IV. Fig. 53. 562. *Si duo corpora elastica* A *&* B *pondere æqualia celeritate æquali sibi mutuo directe occurrant, utrumque resiliet ea celeritate & secundum eam directionem, qua advenerat.*

DEMONSTRATIO.

Si elater abesset, ambo quiescerent (§. 531.). Omnis ergo vis in compressione consumitur. Huic adeo cum æqualis sit elastica (§. 553.), qua resiliunt secundum directionem, qua aduenerant (§. 555.); eadem vis æqualiter agens in corpus A & B eandem in utroque celeritatem & quidem pristinæ æqualem producit. Resiliunt itaque eadem celeritate, qua advenerant. *Q. e. d.*

THEOREMA 89.

Tab. IV. Fig. 53. 563. *Si duo corpora elastica* A *&* B *pondere æqualia celeritate inæquali sibi mutuo directe occurrant; post ictum celeritatibus permutatis feruntur.*

DEMONSTRATIO.

Concurrant corpora A & B celeritatibus $C + c$ & C. Quodsi eadem celeritate C concurrerent, A & B post ictum moveretur celeritate C (§. 562.). Si B quiescceret & A celeritate c in ipsum incurreret, post ictum quiesceret A, & B moveretur celeritate c (§. 560.). Ergo excessus celeritatis c, quo fertur A, totus transfunditur per conflictum in B, adeoque ipso peracto A movetur celeritate C, B vero celeritate $C+c$. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

564. Post ictum itaque eadem celeritate a se invicem discedunt, qua ante ictum ad se invicem accedebant.

THEOREMA 90.

565. *Si corpus elasticum* A *in aliud æquale* B *segnius motum incurrat, post ictum ambo permutatis celeritatibus feruntur secundum eandem, nempe pristinam, directionem.* Tab. IV. Fig. 53.

DEMONSTRATIO.

Incurrat A celeritate $C+c$ in B celeritate C motum. Quoniam ob celeritates C et C æquales nullus fit impulsus, perinde est ac si A sola celeritate c in B quiescens impingeret. Tum vero quiesceret A, & B moveretur celeritate c (§. 560.). Ergo post ictum A movebitur sola celeritate C, B vero celeritate $C+c$, & utrumque quidem secundum pristinam directionem, quia nihil directionem immutat. *Q. e. d.*

COROL-

Digitized by Google

COROLLARIUM.

566. Post ictum itaque eadem celeritate a se invicem discedunt, qua ante ictum ad se mutuo accedebant.

THEOREMA 91.

Tab. IV. Fig. 53. 567. *Si corpus* A *in alterum* B *incurrit, ictus idem est, qui fieret a corpore* A *in* B *quiescens cum differentia velocitatum incurrente.*

DEMONSTRATIO.

Sint enim massæ M & m, celeritates C & c, erit celeritas communis post impactum $= (MC + mc) : (M + m)$ (§. 535.), adeoque impetus ipsius A $= (M^2C + Mmc) : (M + m)$ (§. 543.) consequenter impetus per ictum amissus $= MC - (M^2C - Mmc) : (M + m) = (M^2C + MmC - M^2C - Mmc) : (M + m) = Mm(C - c) : (M + m)$. Sed si A incurrat in B quiescens celeritate $C - c$; erit celeritas post ictum $= (MC - Mc) : (M + m)$ (§. 533.) adeoque impetus $(M^2C - M^2c) : (M + m)$ (§. 543.), consequenter per ictum amissus $MC - Mc - (M^2C + M^2c) : (M + m) = (M^2C - M^2c + MmC - Mmc - M^2C + M^2c) : (M + m) = Mm(C - c) : (M + m)$. In utroque igitur casu idem impetus amittitur, consequenter ictus idem est (§. 542.).

COROLLARIUM.

568. Cum vis elastica ictui æqualis sit (§. 554.); cum differentia velocitatum, quam habebant ante conflictum, in corpora A & B agit.

THEOREMA 92.

569. *Si duo corpora* A *&* B *sibi mutuo occurrunt, ictus idem contingit, qui fieret a corpore* A *in* B *quiescens cum summa velocitatum impingente.* Tab. IV. Fig. 53.

DEMONSTRATIO.

Sint omnia ut ante, erit celeritas communis post impactum $(MC - mc) : (M + m)$ (§. 540.), adeoque impetus ipsius A seu fortioris $(M^2C - Mmc) : (M + m)$, consequenter impetus per ictum amissus $= MC - (M^2C + Mmc) : (M + m)$ (§. 541.), $= (M^2C + MmC - M^2C + Mmc) : (M + m) = MmC + Mmc) : (M + m) = Mm(C + c) : (M + m)$. Sed si A incurrat in B quiescens celeritate $C + c$, erit celeritas post ictum $= (MC + Mc) : (M + m)$ (§. 533.) adeoque impetus $(M^2C + M^2c) : (M + m)$ (§. 543.), consequenter per ictum amissus $MC + Mc - (M^2C - M^2c) : (M + m) = (M^2C + M^2c + MmC + Mmc - M^2C - M^2c) : (M + m) = (MmC + Mmc) : M + m) = Mm(C + c) : (M + m)$. *Q. e. d.*

COROL-

Digitized by Google

COROLLARIUM.

570. Cum vis elastica ictui æqualis sit (§ 554.), in corpora A & B cum summa velocitatum agit, quas ante conflictum habebant.

PROBLEMA 107.

571. *Determinare celeritatem corporum elasticorum quorumcunque* A *&* B *celeritatibus quibuscunque directe concurrentibus.*

RESOLUTIO.

Tab. IV. Fig. 53. I. Si corpora A & B in easdem plagas tendant, post ictum vi sola impulsus secundum eandem moventur celeritate communi $(MC + mc) : (M + m)$ (§ 535.). Accedat jam vis elastica, quæ agit in eadem corpora cum celeritate $C - c$ (§ 568.) adeoque cum in momento ictus A & B corpus unum constituant, eandem ita distribuit, ut celeritates, post ictum a vi elastica acquisitæ sint in ratione massarum reciproca. Sit ergo celeritas ipsi B acquisita $= x$, erit

$$M : m = x : C - c - x$$

$$MC - Mc - Mx = mx$$

$$MC - Mc = Mx + mx$$

$$(MC - Mc) : (M + m) = x$$

Hinc celeritas ipsi A acquisita $= C - c - (MC + Mc) : (M + m) = (MC - Mc + mC - mc - MC + Mc) : (M + m) = (mC - mc) : (M + m)$. Jam cum elater corpus A repellat, directioni ejus contrarius, celeritas hæc subtrahenda est ab ea, quæ per solum impulsum acquiritur: cum vero idem corpus B ad eandem plagam propellat, celeritas x addenda est priori per impulsum solum acquisitæ (§ 76.). Unde tandem prodit celeritas ipsius A $= (MC + mc - mC + mc) : (M + m) = (MC - mC + 2mc) : (M + m)$ & ipsius B $= (MC + mc + MC - Mc) : (M + m) = (2MC + mc - Mc) : (M + m)$.

E. gr. Sit $M = 6$ librarum, $m = 4$, $C = 3$, $c = 2$, erit post conflictum celeritas ipsius A $= (18 - 12 + 16) : (6 + 4) = \frac{22}{10} = 2\frac{1}{5}$ & ipsius B $= (36 + 8 - 12) : 10 = \frac{32}{10} = 3\frac{1}{5}$. Progrediuntur itaque A & B versus eandem plagam celeritatibus $2\frac{1}{5}$ & $3\frac{1}{5}$.

Sit $M = 2$, $m = 6$, $C = 4$, $c = 1$, erit post conflictum celeritas ipsius A $= (8 - 24 + 12) : (2 + 6) = -\frac{4}{8} = -\frac{1}{2}$; celeritas ipsius B $= (16 + 6 - 2) : (2 + 6) = \frac{20}{8} = 2\frac{1}{2}$. Cum celeritas ipsius A negativa prodeat, id indicio est celeritatem per actionem elateris acquisitam esse majorem celeritate per impulsum acquisita adeoque corpus A resilire post ictum. Post conflictum itaque A cum dimidio celeritatis gradu recedit, B vero cum $2\frac{1}{2}$ progreditur.

II. Si corpora A & B ad contrarias plagas tendentia sibi mutuo occur-

Digitized by Google

occurrant, in conflictu per impulsum solum utrique acquiritur celeritas $(MC - mc):(M + m)$ (§. 540.). Cum vis elastica in corpora, quæ inter se colliduntur, agat cum celeritate $C + c$ (§. 570.), si celeritas ipsi B inde acquisita sit x, erit vi superiorum.

$$M : m = x : C + c - x$$
$$MC + Mc - Mx = mx$$
$$MC + Mc = Mx + mx$$
$$(MC + Mc):(M + m) = x$$

Hinc celeritas, quæ ipsi A acquiritur $C + c(-MC - Mc):M + m)$ $= (MC + Mc + mC + mc - MC - Mc) : (M + m) = (mC + mc):(M + m)$. Unde tandem ut ante prodit celeritas ipsius $A = (MC - mc - mC - mc):(M + m) = (MC - mC - 2mc):(M + m)$; celeritas vero ipsius $B = (MC - mc + MC + Mc):(M + m) = (2MC + Mc - mc):(M + m)$. Quodsi $mC + 2mc > MC$; celeritas ipsius A est negativa, quod ostendit, vim elasticam esse impulsu superiorem, adeoque corpus A resilire, nec progredi cum resiliente B.

E. gr. Sit ut ante $M = 6$, $m = 4$, $C = 3$, $c = 2$, erit post conflictum celeritas ipsius $A = (18 - 12 - 16):10 = -1$ & ipsius $B = (36 + 12 - 8):10 = \frac{40}{10} = 4$. Regreditur adeo corpus B cum quatuor gradibus celeritatum & A cum uno.

COROLLARIUM 1.

572. Quoniam $\frac{MC - mC + 2mc}{M + m} = \frac{MC + mC - 2mC + 2mc}{M + m} = C - \frac{2mC + 2mc}{M + m}$ & $\frac{2MC + mc - Mc}{M + m} = \frac{Mc + mc + 2MC - 2Mc}{M + m} = c + \frac{2MC - 2Mc}{M + m}$, atque $(2MC - 2Mc):(M + m)$ & $(2mC - 2mc):(M + m)$ sunt celeritates, quæ se habent ad celeritatum differentiam ante impactum, (quæ *celeritas respectiva* dicitur) ut alterutrius ponderis duplum ad ponderum summam; si corpus elasticum A in aliud B sive quiescens, sive tardius motum incurrat, invenitur celeritas post impactum corporis A, ubi fiat: *ut summa ponderum ad duplum pondus ipsius* B, *ita celeritatum differentia ante impactum ad celeritatem, quæ ex celeritate ipsius* A *ante impactum subducta relinquit celeritatem ejusdem post impactum.* Celeritas vero ipsius B reperitur, si fiat; *ut summa ponderum ad duplum pondus ipsius* A, *ita celeritatum differentia ante impactum ad celeritatem, qua addita celeritati ipsius* B *prodit celeritas hujus post impactum.*

COROL-

COROLLARIUM 2.

573. Similiter quia $\frac{MC - mC - 2mc}{M + m} = \frac{MC + mC - 2mC - 2mc}{M + m} = C - \frac{2mC - 2mc}{M + m}$ & $\frac{2MC + Mc - mc}{M + m} = \frac{2MC + 2Mc - Mc - mc}{M + m} = \frac{2MC + 2Mc}{M + m} - c$, atque $(2mC + 2mc):(M + m)$ & $(2MC + 2Mc):(M + m)$ sunt celeritates, quæ se habent ad celeritatum ante impactum summam (quæ *celeritas respectiva* dicitur) ut duplum ponderis alterutrius ad eorundem summam; si duo corpora elastica A & B sibi mutuo occurrant, invenitur post impactum corporis A celeritas, ubi fiat: *ut summa ponderum ad duplum pondus ipsius* B, *ita celeritatum ante impactum summa ad celeritatem, quæ ex celeritate ipsius* A *ante impactum subducta relinquit celeritatem ejusdem post impactum.* Celeritas vero ipsius B invenitur, si fiat: *ut summa ponderum ad duplum pondus ipsius* A *ita summa celeritatum ante impactum ad celeritatem, ex qua subducta celeritas ante impactum relinquit eam, quæ inest post eundem.*

THEOREMA 93.

Tab. IV. Fig. 53. 574. *Si corpus elasticum* A *directe impingit in aliud quiescens* B; *erit celeritas ejus post conflictum ad celeritatem ante eundem, ut differentia ponderum ad summam eorundem, quam vero communicat cum* B, *ea ad eandem est ut duplum pondus ipsius* A *ad ponderum summam.*

DEMONSTRATIO.

Si B non quiescit, celeritas ipsius A post ictum est $(MC - mC + 2mc):(M+m)$, (§. 571.). Si vero quiescit, celeritas ejus ante conflictum nulla est, adeoque $c = o$. Quare cum in hoc casu fiat $2mc = o$; erit celeritas ipsius A post impactum $= (MC - mC):(M + m)$. Est itaque ad C celeritatem ante conflictum ut $M - m$ differentia ponderum ad $M + m$ eorundem summam. *Quod erat unum.*

Similiter si B non quiescit, celeritatem ex conflictu acquirit $(2MC + mc - Mc):(M + m)$, (§. 571.). Jam si quiescit, celeritas ejus nulla est, adeoque $c = o$, consequenter $mc = o$ & $Mc = o$. Quare celeritas ipsius B post conflictum $= 2MC:(M + m)$. Est igitur ad celeritatem ipsius A ante conflictum ut duplum ponderis A ad summam ponderum. *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM.

575 Erit ergo ex æquo post conflictum velocitas ipsius A ad velocitatem ipsius

Digitized by Google

ipsius B ut differentia ponderum ad duplum ipsius A (*§. 169. Arithm.*).

THEOREMA 94.

576. *Si duo corpora elastica A & B sibi mutuo directe occurrunt cum celeritatibus, quæ ipsorum ponderibus reciproce proportionales sunt, post conflictum eadem celeritate a se invicem resiliunt, qua advenerant.*

DEMONSTRATIO.

Post conflictum celeritas ipsius A est $(MC - mC - 2mc) : (M + m)$ & celeritas ipsius B est $(2MC + Mc - mc) : (M + m)$ (§ 571.). Est vero $M : m = c : C$, *per hypoth.* adeoque $mc = MC$ (§ *297. Arithm.*). Quod si ergo in expressione celeritatis ipsius pro $2mc$ substituas $2MC$, prodibit $(-mC - MC) : (M + m) = -C$. Resilit ergo A celeritate C, qua advenerat. *Quod erat unum.*

Quodsi similiter in expressione celeritatis ipsius B pro $2MC$ substituas $2mc$; prodibit $(mc + Mc) : (M + m) = c$. Abit ergo B eadem celeritate, qua advenerat. *Quod erat alterum.*

THEOREMA 95.

577. *Si duo corpora elastica ante & post conflictum in eandem plagam moventur; differentia celeritatum tam ante, quam post impulsum eadem.*

DEMONSTRATIO.

Sint celeritates corporum M & m ante conflictum C & c; erit eorum differentia $= C - c$, & corpus M, quod sequitur, in alterum m incurrit. Celeritas igitur ipsius M post conflictum $= \frac{MC + 2mc - mC}{M + m}$; ipsius autem $m = \frac{mc + 2MC - Mc}{M + m}$ (§. 571.), & quoniam post conflictum adhuc in eandem plagam moventur, celeritas corporis M celeritate alterius m minor est, consequenter celeritatum differentia post conflictum $\frac{mc + 2MC - Mc - MC - 2mc + mC}{M + m}$

$$= \frac{MC - Mc - mc + mC}{M + m}$$

$= C - c$. Est adeo celeritatum differentia post conflictum eadem, quæ fuerat ante eundem. *Q. e. d.*

THEOREMA 96.

578. *Si duo corpora elastica ante conflictum in eandem plagam moventur, post conflictum in contrarias; differentia celeritatum ante conflictum æqualis est summæ celeritatum post eundem.*

DE-

Digitized by Google

DEMONSTRATIO.

Sint celeritates corporum M & *m* ante conflictum C & *c*: erit differentia eorundem C − *c*. Quoniam corpus M, quod ante conflictum celerius movetur *per hypoth.* in alterum *m* incurrit, & post conflictum M & *m* moventur in plagas contrarias *per hypoth.* celeritas vi elastica producta in M major est celeritate ex ictu, utpote qua M cum *m* in eandem plagam progrediebatur (§. 532.). Celeritas igitur in corpore M negativa est, adeoque $\frac{mC - 2mc - MC}{M + m}$ & in corpore $m = \frac{2MC + mc - Mc}{M + m}$ (§. 571.), consequenter summa celeritatum post conflictum $= \frac{MC + mC - Mc - mc}{M + m} = C - c$. Est ergo summa celeritatum post conflictum eadem cum differentia earundem ante eundem. *Q. e. d.*

THEOREMA 97.

579 *Si duo corpora elastica ante conflictum in partes contrarias, post eundem in eandem moventur; summa celeritatum ante conflictum æqualis est differentiæ earum post eundem.*

DEMONSTRATIO.

Sint celeritates corporum M & *m* ante conflictum C & *c*: erit summa earundem C + *c*. Quoniam corpora sibi mutuo occurrunt & post conflictum in eandem partem moventur *per hypoth.* erit post conflictum celeritas corporis $M = \frac{MC - mC - 2mc}{M + m}$ & corporis $m = \frac{2MC + Mc - mc}{M + m}$ (§. 571.). Est vero differentia harum celeritatum $= \frac{MC + Mc + mC + mc}{M + m} = C + c$, quæ eadem cum summa celeritatum ante conflictum. *Q. e. d.*

THEOREMA 98.

580. *Si duo corpora elastica ante & post conflictum in partes contrarias moventur; summa celeritatum ante & post conflictum eadem.*

DEMONSTRATIO.

Sint corporum M & *m* celeritates ante conflictum C & *c*; erit earum summa C + *c*. Quoniam corpora hæc ante conflictum in partes contrarias moventur, adeoque sibi mutuo occurrunt *per hypoth.* erit celeritas corporis $m = \frac{2MC + Mc - mc}{M + m}$ (§. 571.). Enimvero corpus M post conflictum in partem ei contrariam movetur in quam

quam ante eundem tendebat *per hyp.* adeoque $mC + 2mc > MC$, seu celeritas post conflictum negativa, consequenter $= \frac{mC + 2mc - MC}{M + m}$ (§. *cit.*). Est igitur summa celeritatum post conflictum $= \frac{MC + Mc + mC + mc}{M + m} = C + c$, adeoque eadem quæ ante eundem *Q. e. d.*

THEOREMA 99.

581. *Si duo corpora elastica ante & post conflictum in eandem plagam moventur; quantitas motus ante & post conflictum eadem.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam corpora ante conflictum in eandem plagam moventur, unum in alterum incurrit. Incurrat igitur corpus M celeritate C in corpus m celeritate c motum: erit celeritas illius post conflictum $\frac{MC + 2mc - mC}{M + m}$ & hujus celeritas $\frac{2MC + mc - Mc}{M + m}$ (§. 571.), consequenter quantitas motus corporis M post conflictum $= \frac{M^2C + 2Mmc - MmC}{M + m}$ & corporis $m = \frac{2MmC + m^2c - Mmc}{M + m}$ (§. 22.). Est itaque summa motuum post conflictum $= \frac{M^2C + MmC + Mmc + m^2c}{M + m} = MC + mc$. Enimvero quantitas motus utriusque corporis ante conflictum in unam summam collecta erat itidem $MC + mc$ (§. *cit.*). Quamobrem patet quantitatem motus ante & post conflictum esse eandem. *Q. e. d.*

THEOREMA 100.

582. *Si duo corpora elastica ante & post conflictum in partes contrarias moventur; differentia quantitatum motus ante & post conflictum eadem.*

DEMONSTRATIO.

Quia corpora ante conflictum in partes contrarias moventur *per hypoth.* sibi mutuo occurrunt. Occurrat itaque corpus M celeritate C corpori m celeritate c moto; erit celeritas corporis m post conflictum $= \frac{2MC - mc + Mc}{M + m}$ & cum corpus M post conflictum in partem ei contrariam movetur, qua advenerat, erit celeritas corporis M post conflictum $= \frac{mC + 2mc}{M + m}$

— MC

Digitized by Google

— MC. Quare quantitates motuum in corporibus M & *m* sunt $\frac{MmC + 2Mmc - M^2C}{M + m}$ & $\frac{2MmC - m^2c + Mmc}{M + m}$, consequenter eorum differentia $= \frac{MmC - Mmc + M^2C - m^2c}{M + m} = MC - mc$. Est vero $MC - mc$ differentia quantitatum motus ante conflictum. Ergo differentia quantitatum motus ante & post conflictum eadem. *Q. e. d.*

THEOREMA 101.

583. *Si duo corpora elastica ante conflictum in eandem partem, post conflictum vero in contrarias moventur; differentia quantitatum motus post conflictum est æqualis summæ earundem ante eundem.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam corpora ante conflictum in eandem partem moventur, corpus unum in alterum incurrit. Incurrat igitur corpus M celeritate C in alterum *m* celeritate *c* motum; erit celeritas corporis $m = \frac{2MC + mc - Mc}{M + m}$. Quoniam vero corpus M movetur post conflictum in partem contrariam ei, in quam ante tendebat; celeritas erit negativa, adeoque celeritas positiva evadet $\frac{mc - 2mc - MC}{M + m}$ (§. 571.). Sunt igitur quantitates motus post conflictum $= \frac{MmC - 2Mmc - M^2C}{M + m}$ & $\frac{2MmC + m^2c - Mmc}{M + m}$, adeoque differentia $\frac{MmC + Mmc + M^2C + m^2c}{M + m} = MC + mc$. Quare cum sit $MC + mc$ summa quantitatum motus ante conflictum (§. 22.); differentia motuum post conflictum æqualis est summæ ante eundem.

THEOREMA 102.

584. *Si duo corpora elastica ante conflictum in partes contrarias, post eundem in easdem moventur; summa motuum post eundem æqualis est differentiæ earundem ante eundem.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam corpora ante conflictum in partes contraris contendunt, sibi mutuo occurrunt. Occurrat igitur corpus M celeritate C alteri *m* celeritate *c* moto; erit celeritas corporis *m* post conflictum $= \frac{2MC + Mc - mc}{M + m}$ & corporis

M =

$M = \frac{MC - mC - 2mc}{M + m}$ (§. 571.).

Sunt adeo quantitates motus post conflictum $= \frac{2MmC + Mmc - m^2c}{M + m}$

& $\frac{M^2C - MmC - 2Mmc}{M + m}$ (§. 22.),

consequenter summa motuum post conflictum $= \frac{M^2C + MmC - Mmc - m^2c}{M + m} = MC - mc$. Quoniam differentia motuum ante conflictum est $MC - mc$, summa motuum post eundem est æqualis differentiæ motuum ante eundem.

THEOREMA 103.

585. *In conflictu corporum elasticorum hoc solo in casu eadem conservatur motus quantitas, quando corpora ante & post conflictum in eandem plagam moventur.*

DEMONSTRATIO.

Corpora enim aut ante & post conflictum in eandem plagam moventur, aut in contrarias; aut ante conflictum in eandem, post eundem in contrarias; aut denique ante conflictum in contrarias partes, post eundem in eandem tendunt. Jam in hoc solo casu, quando corpora ante & post conflictum in eandem plagam tendunt, summa motuum ante & post conflictum eadem (§. 581. & seqq.). In hoc igitur casu solo eadem conservatur motus quantitas.

COROLLARIUM.

586. A vero igitur aberravit *Cartesius*, dum hanc statuit naturæ legem, quod in omni corporum conflictu eadem semper conservetur motus quantitas.

SCHOLION.

587. *Ut idem evidentius appareat, ostendendum porro erit, quonam in casu quantitas motus augeatur, in quonam minuatur. Eo igitur fine addimus theoremata proxime sequentia.*

THEOREMA 104.

588. *In conflictu corporum elasticorum quantitas motus augetur, quando ante conflictum in partem eandem, post conflictum in contrarias moventur.*

DEMONSTRATIO.

Quando enim corpora ante conflictum in partem eandem, post conflictum in contrarias partes feruntur; differentia motuum post conflictum est æqualis summæ eorundem ante conflictum (§. 583.). Enimvero summa motuum post conflictum est major differentia motuum post eundem: id quod ex terminis manifestum est (§. *61. 64. Arithm.*). Quamobrem etiam sum-

summa motuum post conflictum major est summa eorundem ante conflictum (§. 98. *Arithm.*). Quantitas igitur motus in conflictu augetur. *Q. e. d.*

THEOREMA 105.

589. *In conflictu corporum elasticorum quantitas motus minuitur, quando ante conflictum in partes contrarias post eundem in eandem moventur.*

DEMONSTRATIO.

Quando enim corpora ante conflictum in partes contrarias, post eundem in eandem feruntur; summa motuum post conflictum æqualis est differentiæ eorundem ante conflictum (§ 584.). Enimvero summa motuum ante conflictum major est differentia eorundem ante conflictum: id quod ex terminis manifestum (§. 61. 64. *Arithm.*). Ergo summa motuum ante conflictum major est summa motuum post eundem (§. 89. *Arithm.*). Quantitas igitur motus in conflictu imminuitur. *Q. e. d.*

THEOREMA 106.

590. *Corpora elastica post conflictum eadem celeritate a se invicem recedunt, qua ante eundem ad se invicem accedebant.*

DEMONSTRATIO.

I. Si corpora ante conflictum in eandem plagam moventur & tardius motum præcedit, celerius motum sequitur, quemadmodum in conflictu supponi debet; differentia celeritatum ad se invicem accedunt. Quodsi vero post conflictum itidem in eandem plagam feruntur, differentia celeritatum post conflictum est æqualis differentiæ celeritatum ante eundem (§. 577.). Quoniam itaque tardius motum sequitur, celerius motum præcedit, quemadmodum ex actione elateris intelligitur, qua corpora vi ictus eadem celeritate secundum eandem directionem progressura (§. 532.) a se invicem separantur (§. 571.), adeoque differentia celeritatum a se invicem discedunt; post conflictum ea celeritate a se invicem recedunt, qua ante eundem ad se invicem accedebant. *Quod erat unum.*

II. Si corpora ante conflictum in eandem plagam moventur & tardius motum præcedit, celerius motum sequitur, differentia celeritatum ad se invicem accedunt. Quodsi post conflictum in diversas plagas tendunt,

Digitized by Google

summa celeritatum a se invicem recedunt. Quare cum in hoc casu summa celeritatum post conflictum sit æqualis differentiæ ante eundem (§. 578.); eadem celeritate etiam in hoc casu post conflictum a se invicem discedunt, qua ante eundem ad se invicem accedebant. *Quod erat secundum.*

III. Quodsi duo corpora ante conflictum in partes contrarias moventur sibi mutuo occursura, summa celeritatum ad se invicem accedunt. Quodsi post conflictum tendant in eandem, cum celerius motum præcedat, tardius motum sequatur vi eorum, quæ *n. I.* dicta sunt; differentia celeritatum a se invicem recedunt. Est vero differentia celeritatum post conflictum æqualis summæ ante eundem (§. 579.). Ergo corpora post conflictum eadem celeritate a se invicem recedunt, qua post eundem ad se invicem accedebant. *Quod erat tertium.*

IV. Denique si duo corpora ante conflictum in partes contrarias moventur sibi mutuo occursura & post conflictum in contrarias a se invicem discedunt; summa celeritatum ante conflictum ad se invicem accedunt, post conflictum a se invicem recedunt. Est vero in hoc casu summa celeritatum ante & post conflictum eadem (§. 580.). Ergo eadem celeritate post conflictum a se invicem recedunt, quo ante eundem ad se invicem accedunt. *Quod erat quartum.*

SCHOLION.

591. *Hoc theorema breviter ita enunciatur*: In conflictu corporum elasticorum eadem semper conservatur celeritas respectiva. *Hanc propositionem alii inter leges motus referunt ac inde regulas motus demonstrant.*

COROLLARIUM.

592. Æqualibus igitur temporibus ante & post conflictum æquales sunt corporum a se invicem distantiæ, veluti quo intervallo uno minuto ante conflictum corpora a se invicem distant, eadem uno minuto post eundem a se invicem distant.

THEOREMA 107.

593. *Si duo corpora elastica* A *&* B *directe concurrant, vel sibi mutuo occurrant, summa factorum ex massis in quadrata celeritatum ante & post conflictum eadem.* Tab. IV. Fig. 53.

DEMONSTRATIO.

In concursu directo celeritates post conflictum sunt (MC — mC

+ 2

$+2mc):(M+m)$, vel $(mC-2mc-MC):(M+m)$ & $(2MC-Mc+mc):(M+m)$ (§. 571.). Hinc quadrata eorundem $(M^2C^2+4MmCc-4m^2Cc+4m^2c^2+m^2C^2-2mMC^2):(M^2+2mM+m^2)$ & $(4M^2C^2+4MmCc-2Mmc^2+m^2c^2-4M^2Cc+M^2c^2):(M^2+2mM+m^2)$, consequenter priore per M, posteriore per m multiplicato, prodit summa factorum ex massis in quadrata celeritatum $(M^3C^2+2Mm^2c^2+2M^2C^2m+M^2c^2m+Mm^2C^2+m^3c^2):(M^2+2mM+m^2)=MC^2+mc^2$, quæ eadem est summa ex factis massarum in quadrata celeritatum ante conflictum. Idem cum eodem modo in occursu corporum directo ostendatur, quo celeritas corporis m est $(2MC+Mc-mc):(M+m)$, corporis vero M est $\frac{MC-mc-2mc}{M+m}$, vel $\frac{mC+2mc-MC}{M+m}$ (§. 571.); patet propositum. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

594. Eadem itaque in conflictu conservatur virium vivarum quantitas (§. 325.).

THEOREMA 108.

595. *Si duo corpora elastica celeritatibus per conflictum acquisitis denuo in se invicem incurrere, vel sibi mutuo occurrere supponantur; per novum hunc conflictum recuperabunt celeritates, quas ante eundem habebant.*

DEMONSTRATIO.

Sint massæ corporum M & m, celeritates ante primum conflictum C & c, ac corpus M incurrat in alterum m: erunt post conflictum celeritates eorundem corporum $\frac{MC-mC+2mc}{M+m}$ & $\frac{2MC+mC-Mc}{M+m}$ (§. 571.). Quoniam celeritas corporis m major est celeritate alterius M post conflictum (§. *cit.*); mutatis directionibus corpus m in alterum M incurret. Ne calculus fiat intricatus, fiat $A=m$, $B=M$, celeritas ipsius $A=V=\frac{2MC+mc-Mc}{M+m}$ & celeritas corporis $B=v=\frac{MC-mC+2mc}{M+m}$. Erit igitur post alterum conflictum celeritas corporis incurrentis $A=\frac{AV-BV+2Bv}{A+B}$, & celeritas alterius $B=\frac{2AV+Bv-Av}{A+B}$. Jam omisso interim

 divi-

divisore $M + m$ in V & v, erit

$$AV = 2MmC + m^2c - Mmc$$
$$- BV = - 2M^2C - Mmc + M^2c$$
$$+ Bv = 2M^2C - 2MmC + 4Mmc$$

consequenter

$$\frac{AV - BV + 2Bv}{A + B} = \frac{M^2c + 2Mmc + m^2c}{M^2 + 2Mm + m^2} = c$$

Recuperat igitur corpus m post conflictum alterum celeritatem c, quam ante primum habebat. *Quod erat unum.* Porro ut ante.

$$2AV = 4MmC + 2m^2c - 2Mmc$$
$$+ Bv = + M^2C - MmC + 2Mmc$$
$$- Av = - MmC + m^2C - 2m^2c$$

$$\frac{2AV + Bv - Av}{A + B} = \frac{M^2C + 2MmC + m^2C}{M^2 + 2Mm + m^2} = C$$

Recuperat itaque etiam corpus M per conflictum alterum celeritatem C, quam ante primum habebat. *Quod erat secundum.*

Utrumque eodem modo ostenditur, si corpora duo sibi mutuo directe occurrant & mutatis directionibus post conflictum primum denuo sibi occurrere supponantur. *Quod erat tertium & quartum.*

DEFINITIO 63.

Tab. I. Fig. 4. 596. Si linea recta AB jungit centra gravitatis A & B duorum corporum & punctum C ita eandem dividat, ut sit pondus corporis A ad pondus corporis B uti reciproce BC ad CA; dicetur punctum C *centrum gravitatis corporum A & B.*

SCHOLION.

597. *Ratio denominandi patet ex iis, quæ superius (§. 144.) demonstrata sunt.*

THEOREMA 109.

598. *Centrum gravitatis corporum elasticorum ante & post conflictum vel quiescit, vel uniformiter seu eadem velocitate in eandem plagam movetur & temporibus æqualibus eodem intervallo ab eodem distant mobilia ante & post conflictum.*

DEMONSTRATIO.

Etenim sumtis temporibus ante & post conflictum æqualibus eadem est corporum A & B distantia, adeoque recta jungens eorum centra gravitatis AB eadem (§. 192. *Geom*). Quare cum centrum gravitatis C in eadem recta fixum sit; mobilia ab eodem æquali intervallo distare debent sumtis ante & post conflictum temporibus æqualibus. *Quod erat primum.* Tab. I. Fig. 4.

Fieri autem non potest ut eadem ante & post conflictum temporibus æqualibus sit corporum

porum A & B a centro gravitatis diſtantia, niſi aut centrum iſtud quieſcat, aut ante & poſt conflictum eodem modo moveatur: quod per ſe patet. Ergo centrum gravitatis ante & poſt conflictum vel moveri eodem modo, vel quieſcere debet. *Quod erat ſecundum.*

Quoniam vero centrum gravitatis corpori majori continuo propius eſt (§. 144.); cum corpore majore ſeu graviore in eandem plagam, adeoque continuo juxta eandem directionem movetur. *Quod erat tertium.*

Denique cum corporum motus ſit æquabilis (§. 71.), duplo tempore dupla, triplo tripla, quadruplo quadrupla efficitur in corporibus a ſe invicem recedentibus diſtantia, in accedentibus vero ad ſe invicem ſubdupla, ſubtripla, ſubquadrupla (§. 31.), conſequenter cum diſtantiæ a centro ſint in conſtante ratione, nimirum ratione maſſarum reciproca (§. 596.), eædem quoque duplo tempore duplæ, triplo triplæ, quadruplo quadruplæ in caſu priori, aſt ſubduplæ, ſubtriplæ, ſubquadruplæ in poſteriori evadere debent (§. *178. 181. Arithm.*). Quamobrem ſi centrum gravitatis movetur, ſpatia ab eodem deſcripta temporum rationem habere, adeoque ipſum motu æquabili ferri (§. 31.), conſequenter continuo eadem velocitate progredi debet (§. 24.). *Quod erat quartum.*

SCHOLION.

599. *Quod centrum gravitatis ſubinde quieſcat, ſubinde moveri debeat, & quandonam quieſcat, quandonam moveatur, patet ex propoſitione ſequente.*

THEOREMA 110.

600. *Si duo corpora elaſtica moventur celeritatibus, quæ ſunt maſſis ſeu ponderibus ipſorum reciproce proportionales, ſibique mutuo occurrunt; centrum gravitatis ante & poſt conflictum quieſcit: in alio autem caſu quocunque non quieſcit, ſed movetur.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam enim corpora motu æquabili feruntur *per hypoth.* ſpatia deſcripta eodem tempore continuo ſunt ut celeritates quibus feruntur (§. 33.), adeoque in ratione maſſarum reciproca (*per hyp.* & §. *167. Arithm.*). Enimvero centrum gravitatis continuo a mobilibus diſtat in ratione maſſarum reciproca (§. 596.), & ante conflictum auferuntur a diſtantiis anterioribus continuo partes in ratione

ne maſſarum reciproca *per demonſtrata*; adeoque partes inter mobilia & centri gravitatis locum in anteriore quocunque tempore interceptæ ſunt itidem in ratione maſſarum reciproca (§. *188. Arith.*), conſequenter centrum gravitatis in eodem loco conſtanter hæret (§. 596.) & hinc ante conflictum quieſcit. Enimvero poſt conflictum celeritates eædem prorſus ſunt, quæ ante eundem fuerant (§. 590.), adeoque itidem maſſis reciproce proportionales *per hyp.* Patet igitur ut ante, quod diſtantiæ continuo creſcant a loco centri gravitatis in tempore quocunque anteriore in ratione maſſarum reciproca (§. *187. Arithm.*), conſequenter & poſt conflictum quieſcit. *Quod erat unum.*

Jam in omni reliquo caſu eodem, quo ante, modo patet, quod diſtantiæ a loco centri gravitatis dato tempore ante conflictum non decreſcant, nec poſt conflictum creſcant in ratione maſſarum reciproca, conſequenter a loco iſto continuo non diſtent corpora in ratione maſſarum reciproca (§. *188. 187. Arithmet.*). Centrum igitur gravitatis non omni tempore in eodem loco eſt (§. 596.), conſequenter movetur. *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM.

601. Si corpora elaſtica æqualia eadem celeritate ſibi mutuo occurrunt, celeritates quoque maſſis reciproce proportionales ſunt, quod per ſe patet. Centrum gravitatis igitur ante & poſt conflictum quieſcit, ſi corpora elaſtica æqualia æquali celeritate ſibi mutuo occurrunt.

SCHOLION.

602. *Nimirum caſus hic ſpecialis ſub generali theorematis actu continetur, ut dici non poſſit præter caſum theorematis dari adhuc alium, in quo centrum gravitatis quieſcit. Ceterum theorema præſens ita enunciari ſolet:* Status centri gravitatis non mutatur ab actione corporum in ſe invicem. *Sunt quidam philoſophi, qui ut autoritatem* Carteſii *tueantur, eandem motus quantitatem conſervari in omni conflictu contendunt, quatenus centrum gravitatis, in quo pondera corporum uniuntur (§. 125.), eadem celeritate ante & poſt conflictum movetur. Verum enim eſt quantitatem motus centri gravitatis ante & poſt conflictum eſſe eandem.*

THEOREMA III.

603. *Si corpora elaſtica ſibi mutuo occurrunt, celeritas ab uno eorum amiſſa eſt ad celeritatem, quam idem amitteret, ſi in alterum quieſcens impingeret, ut ſumma celeritatum utriusque ad celeritatem ipſius impingentis.*

DE-

Digitized by Google

DEMONSTRATIO.

Si corpora M & *m* celeritatibus C & *c* sibi mutuo occurrant, erit illius celeritas post conflictum $= \frac{MC - mC - 2mc}{M + m}$ (§. 571.), consequenter celeritas in conflictu amissa $= C - \frac{MC + mC + 2mc}{M + m} = \frac{MC + mC - MC + mC + 2mc}{M + m} = \frac{2mC + 2mc}{M + m}$. Jam vero si corpus M in alterum *m* quiescens celeritate C incurreret; celeritas post conflictum foret $= \frac{MC - mC}{M + m}$ (*per demonstr.* §. 574.) consequenter celeritas amissa foret $C - \frac{MC + mC}{M + m} = \frac{MC + mC - MC + mC}{M + m} = \frac{2mC}{M + m}$. Est igitur celeritas in casu priori amissa ad celeritatem in posteriori amittendam $= \frac{2mC + 2mc}{M + m} : \frac{2mC}{M + m} = C + c : C$, hoc est, ut summa celeritatum utriusque corporis ante conflictum ad celeritatem impingentis ante eundem. *Q. e. d.*

THEOREMA 112.

604. *Si corpus elasticum unum in alterum incurrit, celeritas ab incurrente in conflictu amissa est ad celeritatem, qua idem in quiescens impingeret ut celeritatum differentia ante conflictum ad celeritatem incurrentis.*

Si corpus M celeritate C in corpus *m* incurrit, quod celeritate *c* movetur, erit illius celeritas post conflictum $\frac{MC - mC + 2mc}{M + m}$ (§. 571.), adeoque celeritas in conflictu amissa $C - \frac{MC + mC - 2mc}{M + m} = \frac{MC + mC - MC + mC - 2mc}{M + m} = \frac{2mC - 2mc}{M + m}$. Enimvero si corpus M in alterum *m* quiescens celeritate C incurreret; celeritas post conflictum foret $\frac{MC - mC}{M + m}$, adeoque celeritas amissa foret $C - \frac{MC + mC}{M + m} = \frac{MC + mC - MC + mC}{M + m} = \frac{2mC}{M + m}$. Est igitur celeritas in casu priori amissa ad celeritatem in casu posteriori amittendam =

$\frac{2mC - 2mc}{M + m} : \frac{2mC}{M+m} = C - c : C$, hoc est, ut differentia celeritatum utriusque corporis ante conflictum ad celeritatem incurrentis post eundem. *Q. e. d.*

THEOREMA 113.

605. *Si corpus elasticum majus incurrat in minus quiescens, celeritatem majorem ea, qua fertur, sed dupla minorem eidem communicat.*

DEMONSTRATIO.

Incurrat corpus M celeritate C in corpus minus m quiescens: erit celeritas corporis m post conflictum $2MC : (M + m)$ (§. 574.), hoc est, si $M = m + n$, $\frac{2mC + 2nC}{2m + n}$.

Est igitur celeritas corpori minori m communicata per conflictum a corpore M ad celeritatem hujus ante conflictum $= \frac{2mC + 2nC}{2m + n} : C = 2mC + 2nC : 2mC + nC$ (§. 178. *Arithm.*) $= 2m + 2n : 2m + n$, $= 2 : 1 + \frac{m}{m + n}$ (§. 181. *Arithm.*). Est igitur celeritas corporis minoris major, quam fuerat impingentis ante conflictum, sed minor quam dupla ejusdem: nimirum si dupla foret, antecedens rationis esse deberet $2 + 2m : (m + n)$. Idem etiam patet, si celeritatem corpori minori acquisitam $\frac{2mC + 2nC}{2m + n}$ dividas per $2m + n$; prodit enim $C + \frac{nC}{2m + n}$. Est vero $C + \frac{nC}{2m + n} > C$ (§. 84. *Arithm.*). Jam vero $\frac{nC}{2m + n} : C = nC : (2m + n) C = n : 2m + n$. Sed $n < 2m + n$ (§. 20. *Arithm.*). Ergo $\frac{nC}{m + n} < C$ (§. 151. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 114.

606. *Si corpus elasticum majus in minus quiescens incurrat, minus post conflictum movetur celeritate composita ex ea, qua majus ferebatur ante conflictum, & ex altera, qua post conflictum idem incedit.*

DEMONSTRATIO.

Incurrat corpus M celeritate C in alterum quiescens m, sitque $M = m + n$; patet ex demonstratione theorematis præcedentis corporis m celeritatem post conflictum esse $C + \frac{nC}{2m + n}$. Enimvero celeritas corporis M post conflictum $= \frac{MC - mC}{M + m}$ *per dem.* §. 574.

$= mC$

$\frac{mC + nC - mC}{2m + n} = \frac{nC}{2m+n}$.

Componitur adeo celeritas corporis m ex celeritate C, quam habebat majus M ante conflictum, & ex celeritate $\frac{nC}{2m+n}$, quæ est eidem post conflictum. *Q. e. d.*

THEOREMA 115.

607. *Si celeritas corporis elastici majoris in aliud minus quiescens incurrentis fuerit ut summa massarum utriusque corporis; minori dat celeritatem, quæ est ut duplum sui, amittit vero celeritatem, quæ est ut duplum minoris corporis.*

DEMONSTRATIO.

Si corpus minus m, in quod majus M celeritate C incurrit, quiescit; celeritas ejus post conflictum est $\frac{MC - mC}{M + m}$ & minori dat celeritatem $\frac{2MC}{M+m}$ (*per dem.* § 574.). Est vero C = M + m *per hypoth.* Ergo celeritas majoris sive incurrentis = M − m, quæ differt a celeritate initiali M + m quantitate $2m$. Amittit igitur corpus M in conflictu celeritatem, quæ est ut duplum corporis minoris. *Quod erat unum.*

Sed celeritas corpori minori ex conflictu acquisita erit 2M, adeoque ea est ut duplum corporis majoris incurrentis. *Q. e. d.*

THEOREMA 116.

608. *Si corpus elasticum minus in aliud majus quiescens incurrit celeritate, quæ est ut massarum utriusque corporis summa; dat ei celeritatem, quæ est ut duplum sui; sed celeritatem amittit, quæ est ut duplum majoris.*

DEMONSTRATIO.

Etenim si corpus m celeritate C in corpus majus M incurrit, corporis majoris M celeritas post conflictum $\frac{2mC}{M+m}$ & celeritas ipsius post eundem $\frac{mC - MC}{M + m}$ (*per dem.* §. 574). Est vero C ut M + m *per hypoth.* Ergo celeritas majoris ut $2m$ seu duplum minoris; minoris vero sive incurrentis ut m − M. Differentia vero inter M + m & m − M est 2M. Celeritas igitur in ictu amissa est ut duplum corporis M. *Q. e. d.*

THEOREMA 117.

609. *Si corpus elasticum minus in aliud majus quiescens incurrit, post conflictum semper resilit, eique celeritatem sua minorem dat.*

DEMONSTRATIO.

Etenim si corpus *m* celeritate C incurrat in majus M; erit celeritas majoris M post conflictum $\frac{2mC}{M+m}$, minoris vero seu incurrentis $\frac{mC-MC}{M+m}$ (*per dem.* §.574.).

Jam vero celeritas incurrentis ante conflictum $C = \frac{MC+mC}{M+m}$.

Quare si ponamus $M = m + n$ (§.20. *Arithm.*): erit celeritas minoris ante conflictum $= \frac{2mC+nC}{2m+n}$, majoris vero post eundem $\frac{2mC}{2m+n}$.

Est igitur majori acquisita minor dupla celeritate incurrentis (§. *cit.*). *Quod erat unum.*

Jam cum sit $M = m + n$, erit celeritas minoris post conflictum $\frac{mC-mC-nC}{2m+n} = \frac{-nC}{2m+n}$, adeoque negativa. Post conflictum itaque tendit in plagam contrariam ei, in quam ante eundem movebatur (§.571.). Corpus igitur minus *m* semper resilit post conflictum. *Q. e. d.*

THEOREMA 118.

610. *Si corpus elasticum minus in aliud quiescens incurrit, celeritas utriusque post conflictum simul æquatur celeritati incurrentis ante eundem.*

DEMONSTRATIO.

Etenim si corpus *m* celeritate C incurrit in majus M atque $M = m + n$; erit celeritas majoris post conflictum $= \frac{2mC}{2m+n}$; minoris vero non habita ratione directionis $= \frac{nC}{2m+n}$: quemadmodum ex demonstratione propositionis præcedentis intelligitur. Summa igitur celeritatum post conflictum est $\frac{2mC+nC}{2m+n} = C$. *Q. e. d.*

THEOREMA 119.

611. *Si corpus elasticum unum* A *incurrat in duo elastica* B *&* C, *quorum* B *sit majus quam* A *&* C *vicissim majus quam* B, *atque corpus* C *mediante altero* B *percutit; majorem corpori* C *celeritatem dat, quam si idem immediate seu corpore* B *non interveniente percuteret.*

DE-

DEMONSTRATIO.

Sint massæ corporum A, B & C = M, nM & niM, celeritas incurrentis = C. Cum sit ut summa massarum ad duplam massam incurrentis ita celeritas percutientis ad celeritatem percussi (§. 574.); erit $M + nM : 2M = C : \frac{2MC}{M + nM}$, quæ est celeritas corpori B acquisita. Quodsi jam hac celeritate corpus B in C impingat, seu idem urgeat; erit $nM + niM : 2nM = \frac{2MC}{M + nM} : \frac{4nM^2C}{(M + nM)(nM + niM)}$, quæ est celeritas corpori C interventu corporis B acquisita. Si corpus A immediate percuteret corpus C; foret $M + niM : 2M = C : \frac{2MC}{M + niM}$, quæ est celeritas corpori C acquirenda, si corpus A immediate seu absque interventu corporis B idem percuteret. Est adeo celeritas mediata corporis C ad immediatam $= \frac{4nM^2C}{(M + nM)(nM + niM)} : \frac{2MC}{M + niM} = \frac{2nM}{(M + nM)(nM + niM)} : \frac{1}{M + niM} = 2nM^2 + 2n^2iM^2 : nM^2 + niM^2 + n^2M^2 + n^2iM^2 = 2n + 2n^2i : n + ni + n^2 + n^2i$. Est vero $n + n^2i = n(1 + ni) > ni + n^2 = n(i + n)$, quia $ni > i + n$, adeoque $2n + 2n^2i > n + n^2 + n^2i + ni$ (§. 90. *Arithm.*). Patet igitur celeritatem corporis C interventu alterius B a corpore A percussi esse majorem ea, quam acciperet, si a corpore A immediate percuteretur.

E. gr. Sit massa corporis A = 1, alterius B = 2, tertii C = 6, erit celeritas corporis C mediante corpore B acquisita ad eam, quam immediate ex ictu a corpore A acquireret, (ob $n = 2$ & $i = 3$), ut $4 + 24 : 2 + 6 + 4 + 12 = 28 : 24 = 7 : 6$. Est igitur celeritas mediata major immediata. Sit similiter $M = 2$, $n = 3$, $i = 5$; erit $ni = 15$, $n^2i = 45$, adeoque celeritas mediata corporis C ad immediatam $= 6 + 90 : 3 + 15 + 9 + 45 = 96 : 72 = 4 : 3$. Est igitur denuo celeritas mediata major immediata.

THEOREMA 120.

612. *Si corpus elasticum unum* A *in aliud segnius motum, sed majus* B *incurrat, & hoc celeritate per conflictum modificata percutiat corpus* C *quiescens, sed se itidem majus; corpus* C *majore celeritate feretur, quam si immediate a corpore* A *percuteretur.*

DEMONSTRATIO.

Sit massa corporis A = M, massa secundi B = nM & tertii C = niM, celeritas corporis A = C, corporis

B vero $= lC$ Incurrat jam corpus A in corpus B; erit celeritas corporis B $= \frac{2MC + nlMC - lMC}{M + nM}$ (§. 571.). Quodsi idem corpus A in tertium C quiescens incurreret, foret hujus celeritas $= \frac{2MC}{M + niM}$ (*per dem.* §. 574.). Incurrat jam corpus B celeritate per conflictum cum corpore A modificata in quiescens C; erit celeritas corporis C $= \frac{4nM^2C + 2n^2lM^2C - 2nlM^2C}{(M + nM)(nM + niM)}$ (§. *cit.*). Est igitur celeritas mediata corporis C ad celeritatem immediatam $= \frac{4nM^2C + 2n^2lM^2C - 2nlM^2C}{(M + nM)(nM + niM)} : \frac{2MC}{M + niM} = \frac{2nM + n^2lM - nlM}{(M + nM)(nM + niM)} : \frac{1}{M + niM}$ $= (2n + n^2l - nl)(1 + ni) : (1 + n)(n + ni) = 2n + n^2l - nl + 2n^2i + n^3il - n^2il : n + ni + n^2 + n^2i$. Est vero $n + n^2i > n^2 + ni$, & $n(nl - l) > n$, atque $n^2i(nl - l) > n^2i$ adeoque $2n + n^2l - nl + 2n^2i + n^3il - n^2il > n + ni + n^2 + n^2i$. Quamobrem celeritas mediata major est immediata.

E. gr. Sit massa corporis A $= 1$, alterius B $= 2$, tertii C $= 6$, adeoque $n = 2$, $i = 3$. Sit porro $l = \frac{1}{2}$. Erit celeritas mediata corporis C ad immediatam $4 + 2 - 1 + 24 + 12 - 6 : 2 + 6 + 4 + 12 = 35 : 24$. Est itaque celeritas mediata major immediata.

Sint omnia ut ante, sed $l = \frac{1}{4}$. Erit celeritas mediata corporis C ad immediatam $= 4 + 1 - \frac{1}{2} + 24 + 6 - 3 : 2 + 6 + 4 + 12 = 31\frac{1}{2} : 24$. Est adeo celeritas mediata denuo major immediata.

PROBLEMA 103.

613. *Invenire corpus* B *interponendum inter duo alia corpora* A & C, *ut corpus* C *quiescens a corpore* A *data celeritate moto percussum maximam acquirat celeritatem, quam ex percussione istiusmodi habere potest.*

RESOLUTIO.

Sit celeritas, qua corpus A movetur $= V$. Incurrat A in B quiescens; erit hujus celeritas post conflictum $= \frac{2AV}{A + B}$ (*per dem.* §. 574.). Incurrat jam corpus B celeritate hac acquisita in tertium C quiescens; erit corporis C celeritas post conflictum $= \frac{4ABV}{AB + B^2 + AC + BC}$ (§. *cit.*). Quoniam celeritas hæc maxima est, quam corpus C ex istiusmodi percussione acquirere valet

valet *per hypoth.* erit differentiale ejus nihilo æquale (§. *63. Anal. inf.*). Jam cum A, C & V sint quantitates constantes, B vero sola sit variabilis, facta differentiatione (§. *19. Analys. infin.*) reperitur ($4A^2VBdB + 4AB^2VdB + 4A^2CVdB + 4ABCVdB - 4A^2BVdB - 8AB^2VdB - 4ACBVdB) : (AB + B^2 + AC + BC^2)^2 = 0$. hoc est, $4A^2CVdB - 4AB^2VdB = 0$

$$AC - B^2 = 0$$

$$AC = B^2$$

Unde prodit $A : B = B : C$ (§. *299. Arithm.*).

Theorema. Si corpus B, cujus interventu aliud C quiescens a corpore A quacunque celeritate percutitur, fuerit medium proportionale inter percutiens & percussum; celeritatem ei dabit maximam, quam interventu cujusdam corporis ei communicare valet.

COROLLARIUM.

614. Quodsi ergo series fuerit corporum in continua proportione crescentium, ultimum acquiret celeritatem maximam, quam a priori ex percussione tot corporum interventu acquirere valet, quæ continuo crescunt.

SCHOLION.

615. *Hoc pacto corporibus per conflictum celeritatem communicari posse, quæ fidem omnem superare videtur, calculus probat* & Hugenius (x) *exemplo illustri docuit. Idem valet, si corpora continuo decrescant.*

PROBLEMA 104.

616. *Determinare motum corporum* A & B *oblique impingentium, sive elateris expertium post conflictum.*

RESOLUTIO.

Motus corporis A per AC resolvitur in duos alios secundum AE & AD & motus corporis B per BC similiter in duos alios secundum BF & BG (§. 245.) suntque celeritates per AD & BF ad celeritates per AC & BC ut ipsæ rectæ AD, BF, AC. BC (§. 247.). Jam cum rectæ AE & BG sint parallelæ, vires secundum has directiones agentes sibi mutuo non opponuntur, adeoque in conflictu insuper habendæ. Sed cum lineæ AD & BF, seu quod perinde est, EC & GC eandem rectam ad DC perpendicularem constituant, perinde est ac si corpora A & B solis velocitatibus, quæ sunt ut Tab. IV. Fig. 55.

(x) De Motu corporum ex percussione prop. 13.

Digitized by Google

ut EC & GC, directe sibi mutuo occurrerent (§. 522.). Determinetur itaque celeritas corporum A & B juxta superiora. Sit e. gr. corporis A resilientis celeritas ut CH. Quoniam motus per AE in conflictu non mutatur, fiat CK = AE & compleatur parallelogrammum HCKI; diagonalis CI designabit motum corporis A post conflictum, movebitur nempe post ictum corpus A juxta directionem CI & celeritate ut CI (§. 241.). Eodem modo reperitur, corpus B resiliens moveri per diagonalem parallelogrammi CM, in quo LM = BG. Sunt adeo celeritates post ictum ut CI ad CM. Quodsi post conflictum corpora A & B versus eandem plagam tendant, utrumque parallelogrammum infra DC construitur.

CAPUT XIII.

DE

VI CENTRIFUGA ET CENTRIPETA.

DEFINITIO 64.

617. *Vis centrifuga* est vis, qua mobile circa centrum aliquod revolutum ab eo recedere conatur.

Tab. V. Fig. 56. E. gr. Si corpus in peripheria circuli movetur, in quovis puncto A conatur progredi per tangentem AD (§ 71.) &, si nihil obstaret, actu progrederetur, adeoque eodem tempore, quo arculum AE describit, a centro recederet quantitate rectæ DE ad AD perpendicularis per vim centrifugam (§. 245.).

COROLLARIUM.

618. Est adeo vis centrifuga ut recta DE ad AD perpendicularis, si arcus AE infinite parvus (§. 245.).

DEFINITIO 65.

619. *Vis centripeta* est vis, qua mobile per rectam AG progressurum retrahitur a motu rectilineo, ut in curva incedat.

COROLLARIUM 1.

620. Est itaque vis centripeta ut recta DE, si arculus AE infinite parvus.

COROLLARIUM 2.

621. Et hinc vis centripeta centrifugæ æqualis est (§. 618.).

DEFINITIO 66.

622. *Vires centrales* communi nomi-

nomine dicuntur vis centrifuga atque centripeta.

THEOREMA 121.

Tab. V. Fig. 56. 623. *Si duo corpora pondere æqualia eodem vel æquali tempore motu æquabili peripherias circulorum inæqualium describant, erunt vires centrales ut diametri* AB *&* HL.

DEMONSTRATIO.

Sit arculus AE infinite parvus, adeoque a subtensa non differat. Quia peripheriæ eodem tempore describuntur; si ex centro C ducatur radius CE, erit HK arculus eodem momento descriptus & ad peripheriam minorem ut alter AE ad majorem (§. 137. *Geom.*). Quodsi jam ducantur tangentes AD & HI atque ex punctis E & K ad illas perpendiculares ED & KI, △△ ADE & HIK eodem modo determinantur (§. 119. *Geom.*) adeoque similia sunt (§ 120 *Geom.*), consequenter AE : HK = DE : IK (§. 175. *Geom.*). Sunt vero ut DE ad IK ita vis centralis in circulo majore ad vim centralem in minore (§. 618. 620.). Ergo vires centrales sunt ut arcus AE & HK (§. 167. *Arithm.*) consequenter ut peripheriæ circulorum, quas percurrunt, *per demonstrata*, adeoque & ut diametri eorundem (§. 412. *Geom.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

624. Quodsi ergo vires centrales duorum corporum peripherias circulorum inæqualium describentium fuerint ut diametri, temporibus æqualibus easdem percurrunt.

THEOREMA 122.

625. *Corporis in peripheria circuli incedentis vis centralis est ut arcus infinite parvi* AE *quadratum per diametrum* AB *divisum.* Tab. V. Fig. 56.

DEMONSTRATIO.

Demittatur perpendicularis EM: erit in rectangulo ADEM AM = DE. Quoniam arcus infinite parvus AE a subtensa non differt; erit BA : AE = AE : AM (§. 330. *Geom.*). Est ergo AM = DE = AE^2 : BA (§. 301. *Arithm.*). Quare cum vis centralis sit ut DE (§. 618. 620.); erit eadem ut AE^2 : BA. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

626. Cum ergo corpus motu æquabili tempusculis æqualibus arculos æquales AE describat (§. 31); vis centralis, qua corpus in peripheria circuli urgetur, constanter eadem est.

THEOREMA 123.

627. *Si duo corpora diversas peripherias motu æquabili describant, vires* Tab. V. Fig. 56.

vires centrales sunt in ratione composita duplicata celeritatum & reciproca diametrorum.

DEMONSTRATIO.

Sunt enim ut $AE^2 : AB$ ad $HK^2 : HL$ (§. 625.), adeoque ut $AE^2 . HL$ ad $HK^2 . AB$ (§. *178. Arithm.*). Sed cum arcus AE & HK eodem tempore describantur, *per hypoth.* erunt iidem ut celeritates (§. 33.). Sunt itaque vires centrales in ratione composita ex duplicata celeritatum & reciproca diametrorum. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

628. Si celeritates fuerint æquales; erunt vires centrales reciproce ut diametri AB & HL (§. *181. Arithm.*).

COROLLARIUM 2.

629. Si diametri AB & HL fuerint æquales, hoc est, si utrumque mobile in eadem peripheria, sed dispari celeritate, incedat; erunt vires centrales in ratione duplicata celeritatum (*cit. Arithm.*).

THEOREMA 124.

630. *Si duorum mobilium in diversis peripheriis incedentium vires centrales fuerint æquales; erunt diametri circulorum* AB *&* HL *in ratione duplicata celeritatum.*

DEMONSTRATIO.

Vires enim centrales in eodem instanti sunt $AE^2 : AB$ & $HK^2 : HL$ (§ 625.). Quare $AE^2 : AB = HK^2 : HL$ *per hypoth.* consequenter $AE^2 : HK^2 = AB : HL$ (§. *173. Arithm.*). *Q. e. d.*

LEMMA 2.

631. *Quantitatum proportionalium radices sunt etiam proportionales.*

DEMONSTRATIO.

Sit enim $a : ma = b : mb$ *per hyp.* Quoniam $\sqrt{ma} = \sqrt{a} . \sqrt{m}$ & $\sqrt{mb} = \sqrt{b} . \sqrt{m}$; erit utique $\sqrt{a} : \sqrt{ma} = \sqrt{b} : \sqrt{mb}$ (§. *149. Arithm.*). *Q. e. d.*

LEMMA 3.

632. *Sint quatuor quæcunque quantitates proportionales, sintque totidem aliæ inter se quoque proportionales, si posteriores singulas per singulas priores dividas vel contra; quoti quoque proportionales erunt.*

DEMONSTRATIO.

Sit $a : ma = b : mb$ & $c : nc = d : nd$ *per hypoth.* Quodsi a per c, ma per nc, b per d, mb per nd dividas; prodibunt $\frac{a}{c}$, $\frac{ma}{nc}$, $\frac{b}{d}$ & $\frac{mb}{nd}$. Jam cum sit $\frac{a}{c} : \frac{ma}{nc} = \frac{n}{m}$ & $\frac{b}{d}$

:mb

Digitized by Google

$: \frac{mb}{nd} = \frac{nbd}{mbd} = \frac{n}{m}$; erit utique $\frac{a}{c} : \frac{ma}{nc} = \frac{b}{d} : \frac{mb}{nd}$. Eodem modo patet, esse $\frac{c}{a} : \frac{nc}{ma} = \frac{d}{b} : \frac{nd}{mb}$. *Q. e. d.*

THEOREMA 125.

Tab. V. Fig. 56. 633. *Si duo corpora in peripheriis inæqualibus eadem vi centrali urgentur, tempus in majori est ad tempus in minori in ratione subduplicata diametri majoris* AB *ad minorem* HL.

DEMONSTRATIO.

Sit AB $= D$, HL $= d$, celeritas in majori peripheria $= C$, in minori $= c$, peripheria major $= P$, minor $= p$, tempus per illam $= T$, per hanc $= t$; erit $C^2 : c^2 = D : d$ (§. 630.), adeoque $C : c = \sqrt{D} : \sqrt{d}$ (§. 631.). Est vero $P : p = D : d$ (§. 412. *Geom.*). Ergo & $\frac{P}{C} : \frac{p}{c} = \frac{D}{\sqrt{D}} : \frac{d}{\sqrt{d}} = \sqrt{D} : \sqrt{d}$ (§. 632.). Sed $\frac{P}{C}$ & $\frac{p}{c}$ sunt tempora, quibus peripheriæ vel etiam arcus similes, qui peripheriarum rationem habent (§. 170. *Arithm.*), describuntur (§. 39.). Ergo $T : t = \sqrt{D} : \sqrt{d}$ (§. 167. *Arith.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

634. Est igitur $T^2 : t^2 = D : d$ (§. 260. *Arithm.*), hoc est, diametri circulorum, in quorum peripheriis mobilia eadem vi centrali urgentur, sunt in ratione duplicata temporum.

COROLLARIUM 2.

635. Quoniam $C^2 : c^2 = D : d$ (§. 630.) & $T^2 : t^2 = D : d$ (§. 634.) erit quoque $T^2 : t^2 = C^2 : c^2$ (§. 167. *Arithm.*), consequenter $T : t = C : c$ (§. 631.), hoc est, tempora, quibus peripheriæ aut arcus similes percurruntur a mobilibus, eadem vi centrali impulsis, celeritatum rationem habent.

THEOREMA 126.

636. *Vires centrales sunt in ratione composita ex directa diametrorum & reciproca quadratorum temporum per integras peripherias.*

DEMONSTRATIO.

Sint vires V & v, reliqua ut in demonstratione præcedente: erit $V : v = \frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d}$ (§. 627.). Sed $C : c = \frac{P}{T} : \frac{p}{t}$ (§. 38.) $= \frac{D}{T} : \frac{d}{t}$ (§. 412. *Geometr.* & §. 632. *Mechan.*), consequenter $C^2 : c^2 = \frac{D^2}{T^2} : \frac{d^2}{t^2}$ (§. 260.

(§. 260. *Arithm.*), adeoque $\frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d} = \frac{D^2}{DT^2} : \frac{d^2}{dt^2}$ (§. 185. *Arithm.*) $= \frac{D}{T^2} : \frac{d}{t^2}$ (§. 231. *Arithm.*). Est igitur $V : v = \frac{D}{T^2} : \frac{d}{t^2}$ (§. 167. *Arithm.*). $= Dt^2 : dT^2$ (§. 178. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 127.

637. *Si tempora, quibus in peripheriis integris aut arcubus similibus mobilia feruntur, sunt ut diametri circulorum, vires centrales sunt reciproce ut eædem diametri.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam $T : t = D : d$, *per hyp.* & $V : v = \frac{D}{T^2} : \frac{d}{t^2}$ (§. 636.); erit etiam $V : v = \frac{D}{D^2} : \frac{d}{d^2} = \frac{1}{D} : \frac{1}{d} = d : D$ (§. 178. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

638. Quoniam $V : v = \frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d}$ (§. 627.); erit $\frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d} = d : D$ (§. 167. *Arithm.*), consequenter $C^2 : c^2 = Dd : Dd$ (§. 185. *Arithm.*). Sunt itaque celeritates hoc in casu æquales.

THEOREMA 128.

639. *Si corpus quoddam in peripheria circuli motu uniformi incedat, ea quidem celeritate, quæ acquiritur per altitudinem* AL *cadendo; erit vis centralis ad gravitatem ejus ut dupla altitudo* AL *ad radium* CA. Tab. V. Fig. 56.

DEMONSTRATIO.

Eo tempore, quo grave cadit per AL, motu uniformi describeret 2AL, nempe celeritate, quam cadendo per AL acquisivit & qua per AE movetur (§. 92.). Est igitur tempus per AE ad tempus per AL ut AE ad 2AL (§. 32.), & hinc reperitur spatium eodem tempore a gravi cadente percursum, quo percurritur AE, $= AL . AE^2 : 4AL^2 = AE^2 : 4AL$ (§. 86.). Est vero vis centralis ad gravitatem in eodem corpore in ratione celeritatum, quas vires istæ producunt (§. 280.) adeoque spatiorum eodem tempore motu æquabili descriptorum (§. 33.). Quare cum spatium eo instanti, quo vi gravitatis conficitur $AE^2 : 4AL$, sit $AE^2 : BA$ (§. 625.); erit vis centralis ad gravitatem ejus ut $AE^2 : BA$ ad $AE^2 : 4AL$, hoc est, ut 4AL ad BA, seu 2AL ad CA (§. 181. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROL-

Digitized by Google

COROLLARIUM.

640. Quodsi adeo gravitas corporis dicatur G; erit vis centrifuga $2AL . G : CA$.

THEOREMA 129.

641. *Si grave in peripheria circuli æquabili motu feratur ea quidem celeritate, quam acquirit cadendo per altitudinem* AL *dimidio radio æqualem; vis centralis erit gravitati æqualis.*

DEMONSTRATIO.

Vis centralis est $2AL . G : CA$ (§. 640.). Quare si $AL = \frac{1}{2} CA$; eadem erit $CA . G : CA = G$. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

642. Ergo si gravitati vis centralis æqualis est, ea celeritate in peripheria circuli fertur, quam cadendo per altitudinem radio dimidio æqualem acquirit.

THEOREMA 130.

643. *Si vis centralis gravitati æqualis est, tempus per peripheriam integram est ad tempus descensus per dimidium radium ut peripheria ad radium.*

DEMONSTRATIO.

Spatium motu uniformi cum ea celeritate percursum, quæ cadendo per $\frac{1}{2}$ CA acquiritur, est in tempore æquali = CA (§. 92.). Quare cum peripheria circuli eadem celeritate uniformiter percurratur (§. 642.); erit tempus per peripheriam ad tempus descensus per dimidium radium ut peripheria ad radium CA (§. 32.). *Q. e. d.*

THEOREMA 131.

644. *Si duo corpora in peripheriis inæqualibus celeritate inæquali incedant; quæ sit reciproce in ratione subduplicata diametrorum: vires centrales sunt in ratione duplicata distantiarum a centro virium reciproce sumtarum.*

DEMONSTRATIO.

Si celeritates fuerint C & c, diametri D & d, vires V & v; erit $V : v = \frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d}$ (§. 627.). Sed $C : c = \sqrt{d} : \sqrt{D}$, *per hypoth.* adeoque $C^2 : c^2 = d : D$ (§. *260. Arithm.*). Ergo $V : v = \frac{d}{D} : \frac{D}{d} = d^2 : D^2$ (§. *178. Arithm.*) $= \frac{1}{4} d^2$ ad $\frac{1}{4} D^2$ (§. *181. Arithm.*), hoc est, reciproce sunt ut quadrata radiorum seu distantiarum. *Q. e. d.*

THEOREMA 132.

645. *Si duo corpora in peripheriis inæqualibus celeritatibus incedunt, quæ sunt reciproce ut diametri; erunt vires centrales reciproce ut cubi distantiarum a centro virium.*

Digitized by Google

DEMONSTRATIO.

$V:v = \frac{C^2}{D} : \frac{c^2}{d}$ (§. 627.). Sed $C:c = d:D$ *per hypoth.* adeoque $C^2:c^2 = d^2 : D^2$ (§. 260. *Arithm.*). Ergo $V:v = \frac{d^2}{D} : \frac{D^2}{d} = d^3 : D^3$ (§. 178. *Arithm.*) $= \frac{1}{8}d^3 : \frac{1}{8}D^3$ (§. 181. *Arithm.*), hoc est, vires centrales reciproce sunt ut cubi radiorum seu distantiarum a centro virium *Q. e. d.*

THEOREMA 133.

646. *Si duorum corporum in peripheriis inæqualibus latorum celeritates fuerint reciproce in ratione subduplicata diametrorum; tempora duplicata, quibus integras peripherias aut arcus similes percurrunt, sunt in ratione triplicata distantiarum a centro virium.*

DEMONSTRATIO.

Sint tempora T & t, celeritates C & c, diametri D & d. Cum tam peripheriæ (§. 412. *Geom.*), quam arcus similes (§. 170. *Arithm.*) diametrorum rationem habeant; erit $T:t = \frac{D}{C} : \frac{d}{c}$ (§. 39.). Est vero $C:c = \sqrt{d} : \sqrt{D}$, *per hypoth.* Ergo $T:t = \frac{D}{\sqrt{d}} : \frac{d}{\sqrt{D}} = D\sqrt{D} : d\sqrt{d}$ (§. 124. *Analys. finit.*) $= \sqrt{D^3} : \sqrt{d^3}$ (§. 65. *Analys. finit.*), consequenter $T^2 : t^2 = D^3 : d^3$ (§. 260. *Arithm.*) $= \frac{1}{8}D^3 : \frac{1}{8}d^3$ (§. 181. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

647. Ergo si vires centrales sunt in reciproca ratione distantiarum a centro duplicata, temporum quadrata, quibus peripheriæ integræ aut arcus similes percurruntur, sunt in triplicata earundem distantiarum (§. 644.).

THEOREMA 134.

648. *Si duorum corporum in peripheriis inæqualibus incedentium celeritates fuerint ut diametri reciproce, tempora sunt in ratione duplicata distantiarum a centro.*

DEMONSTRATIO.

Quia $C:c = d:D$ *per hypoth.* & peripheriæ (§. 412. *Geom.*) atque arcus similes (§. 171. *Arithm.*) sunt ut radii, adeoque $T:t = \frac{D}{C} : \frac{d}{c}$ (§. 39.); erit $T:t = \frac{D}{d} : \frac{d}{D} = D^2 : d^2$ (§. 124. *Analys. finit.*) $= \frac{1}{4}D^2 : \frac{1}{4}d^2$ (§. 181. *Arithm.*), hoc est, tempora sunt in ratione duplicata radiorum seu distantiarum a centro. *Q. e. d.*

COROL-

Digitized by Google

COROLLARIUM.

649. Si ergo vires centrales sunt reciproce ut cubi distantiarum a centro virium, tempora, quibus integræ peripheriæ aut arcus similes percurruntur, sunt ut quadrata earundem (§. 645.).

SCHOLION.

Tab. IV. Fig. 56. 650. *Quodsi supponamus vim centripetam urgere corpus versus centrum* C, *ut pro effectu ejus sumatur portio secantis* EG; *omnia manent ut ante, propterea quod in casu infinite parvi* EG *&* DE *pro æqualibus haberi possint, atque adeo eadem in utroque casu eruatur mensura vis centralis. Nimirum cum* CA (§. 308. Geom.) *&* DE per hypoth. *sint perpendiculares ad* AG; *erunt inter se parallelæ* (§. 256. Geom.), *adeoque angulus* GED = ECM (§. 233 Geom.). *Quare cum etiam recti ad* D *&* M *sint æquales* (§. 145. Geom.); *erit* GE : ED = EC : CM (§. 267. Geom.). *Quoniam sagitta* AM *infinite parva* per hypoth. CM *&* CA *æquales habentur* (§ 4. Analys. infin.). *Ergo etiam* CM = CE (§. 40. Geom. *&* § 87. Arithm.). *Est igitur etiam* GE = DE (§. 149. Arithm.). *Quod vero sit etiam* EG *ut* AE^2 : AB, *quemadmodum supra ostendimus esse* ED (§. 627.), *ita evincitur.* AG^2 = NG. EG (§. 379. Geom.), *hoc est, quia in casu arcus* AE *infinite parvi* NG = NE (§ 4. Analys. infinit.), NE. EG = AB. EG = AG^2, *seu, quia arcus infinite parvus* AE *a portiuncula tangentis* AD *assignabiliter non differt*, AB. EG = AE^2. *Unde prodit* EG = AE^2 : AB, *aut quod perinde est, vis centrifuga est ut quadratum arcus infinite parvi per diametrum divisum.*

THEOREMA 135.

651. *Si corpus in linea curva versus easdem partes cava ea lege incedat, ut radius* CB *ex ipso in punctum fixum* C, *quod in eodem plano situm est, ductus areas* BAC, BCE, *&c. describat temporibus proportionales, seu dato tempore æquales: a vi centripeta versus punctum* C *urgetur.* Tab. V. Fig. 57.

DEMONSTRATIO.

Progrediatur corpus sola vi insita per rectam seu arcum infinite parvum AB dato minimo quovis instanti: momento itaque altero ab eadem promoveretur per BD ipsi AB æqualem (§. 31.) & in directum sitam (§. 72.). Sed per vim centripetam a BD retrahitur & per arculum BE incedere cogitur, estque △ CAB = BEC, *per hypoth.* & ducta recta CD. ob AB = DB, *per demonstrata*, △ CDB = CBA (§. 385. *Geom.*). Ergo △ CDB = △ CEB (§. 87. *Arithm.*), consequenter perpendicula ex E & D in BC demissa æqualia sunt (§. 385. *Geom.*) & hinc DE ipsi FB parallela (§. 226. *Geom.*). Cum adeo vires, quibus urgetur mobile per diagonalem BE parallelogrammi DEFB, agant juxta directiones BD & BF (§. 241.), vis centripeta in B ten-

Digitized by Google

tendit ad punctum C. Idem cum eodem modo in quovis alio elemento curvæ demonstretur, patet vim centripetam a motu rectilineo versus C retrahere mobile. *Q. e. d.*

THEOREMA 136.

Tab. V. Fig. 57. 652. *Si corpus secundum directionem rectæ* AD *progrediatur & una a vi centripeta ad punctum fixum* C *in eodem plano situm urgeatur; curvam describit versus* C *cavam, cujus areæ quæcunque duobus radiis* AC *&* CB *comprehensæ sunt temporibus, quibus describuntur, proportionales.*

DEMONSTRATIO.

Vis enim insita vel impressa cum agat juxta BD & centripeta juxta BF seu BC, *per hypoth.* viribus conjunctis describitur diagonalis BE parallelogrammi DEFB (§. 241.). Quoniam itaque quovis instanti directio mobilis a vi centripeta mutatur, curva describitur, eaque versus C cava, quia quælibet particula curvæ BE a proxima AB versus centrum C declinat. *Quod erat unum.*

Sunt vero ob AB = DB *per hypoth.* △△ ABC & BCD æqualia (§. 385. *Geom.*) & ob ED & BC parallelas (§. 241.) △△ BCD & ECB itidem æqualia sunt (§. 385. *Geom.*), consequenter ABC = BCE. Quod cum eodem modo demonstretur de triangulis quotcunque aliis æqualibus tempusculis descriptis; patet, areas rectis ex centro C ductis interceptas temporibus, quibus describuntur, proportionales esse. *Quod erat alterum.*

THEOREMA 137.

653. *Si mobile in linea curva* ABE *incedens vi centripeta versus centrum immobile urgetur, celeritas ejus est reciproce ut perpendiculum a centro illo* C *in tangentem curvæ demissum.* Tab. V. Fig. 57.

DEMONSTRATIO.

Quoniam enim temporibus æqualibus describuntur portiunculæ curvæ infinite parvæ AB, BE & in tempusculis infinite parvis motus æquabilis; erunt celeritates in A & B ut AB ad BE (§. 33.) hoc est, ut bases triangulorum ACB & BCE. Sunt vero triangula ista æqualia *per hypoth.* adeoque bases AB & BE reciproce ut eorum altitudines (§. 393. *Geom.*), hoc est, reciproce ut perpendicula ex centro C in bases AB & BE continuatas, quæ sunt tangentes curvæ in punctis A & B (§. 20. *Analys. infin.*), demissa (§. 227. *Geom.*). Ergo celeritates in punctis A & B sunt reciproce

Digitized by Google

proce ut perpendicula ex centro C in tangentes demissa (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

DEFINITIO 68.

Tab. XVI. Fig. 161. 654. *Centrum virium* diximus punctum O, ad quod mobile in linea curva revolutum a vi centripeta continuo urgetur. Curva vero, in qua mobile incedit, dicitur *Orbis*, vel *Orbita*, item *Trajectoria*.

DEFINITIO 69.

655. *Radius vector* est recta MO ex centro virium O in punctum quodlibet curvæ M ducta, in quo mobile hærere supponitur.

COROLLARIUM.

656. Est adeo radius vector distantia mobilis a centro virium (§. 192 *Geom.*)

THEOREMA 138.

657. *In omni curva vis centralis est in ratione composita ex directa radii vectoris & reciproca radii osculi simplici atque triplicata perpendiculi ex centro virium in tangentem orbis demissi.*

DEMONSTRATIO.

Tangat PN curvam in puncto M, sitque O centrum virium, OM radius vector & CM radius osculi. Ducatur ex O perpendicularis OP ad tangentem PN: ducantur etiam radius vector ON radio alteri MO & radius osculi CR alteri CM infinite propinquus: arcus curvæ Mm haberi potest pro arcu circuli radio CM descripti (§. 313. 314. *Analys. infin.*). Vis centripeta agens versus centrum circuli erit ut mR, quæ vero agit versus centrum virium Orbis O ut mN. Quoniam radius osculi CM ad tangentem perpendicularis (§. 317. *Analys. infin.*) & mRN = CMN + MCR = (§. 239. *Geom.*) = CMN ob MCR infinite parvum = 0 (§. 3. *Analys. infin.*), angulus R recto æqualis, consequenter etiam ipsi P (§. 145. *Geom.*). Jam PMO = MNO + MON (§. 239. *Geom.*) = MNO, ob MON infinite parvum = 0 (§. 3. *Anal. inf.*). Ergo mR : mN = PO : MO (§. 267. *Geom.*), hoc est, vis centripeta agens versus centrum circuli osculatoris C est ad vim centripetam versus centrum virium O agentem ut PO ad MO *per dem.* Quodsi celeritas, qua arculus Mm describitur, fuerit = C; erit vis centripeta agens in centrum osculi C = $C^2 : MC$ (§. 627.). Est vero C reciproce ut PO, hoc est ut $\frac{1}{PO}$ (§. 653.), adeoque vis centripeta agens in centrum osculi = $\frac{1}{PO^2 . MC}$.

Qua-

Quare cum sit *per demonstrata* vis petens centrum osculi ad vim, quæ centrum orbis petit, ut PO ad MO, reperitur tandem vis centripeta agens versus centrum Orbis O $= \frac{MO}{PO^3 . MC}$, atque adeo est in ratione composita ex directa radii vectoris MO, reciproca radii osculi MC & reciproca triplicata perpendiculi ex centro Virium Orbis in tangentem demissi PO. *Q. e. d.*

THEOREMA 139.

Tab. XVI. Fig. 162. 658. *Si corpus in peripheria circuli revolvatur & vis centripeta idem urgeat versus punctum fixum* O *in peripheria situm; erit ea in ratione quintuplicata reciproca radii vectoris* OM.

DEMONSTRATIO.

Tangat PR circulum in puncto dato M & ex centro virium ducatur perpendicularis ad tangentem OP atque radius vector OM. Radius circuli MC erit quoque radius osculi (§. 325. *Analys. infin.*). Jam cum CM (§. 308. *Geom.*) & OP *per hypoth.* sint perpendiculares ad PR; erunt inter se parallelæ (§ 256 *Geom.*), consequenter $o = x$ (§. 233. *Geom.*). Quare cum OPM sit rectus *per construct.* & MON itidem rectus (§. 317. *Geom.*); erit MN : MO = MO : OP (§. 267. *Geom.*), adeoque OP $= \frac{MO^2}{MN}$, consequenter $OP^3 = \frac{MO^6}{MN^3}$. Est vero vis centripeta in M $= \frac{MO}{OP^3 . MC}$ (§. 657.). Quare si pro OP^3 substituatur ejus valor $\frac{MO^6}{MN^3}$, prodibit vis centripeta $\frac{MO . MN^3}{MO^6 . MC}$. Sunt vero MN & MC in omni puncto peripheriæ constantes, adeoque ubi tantummodo cum ratione virium centripetarum in diversis punctis peripheriæ negotium fuerit, vis centripeta $\frac{MO}{MO^6}$ seu $\frac{1}{MO^5}$ (§. 178. 181. *Arithm.*), hoc est, in ratione quintuplicata radii vectoris reciproca. *Q. e. d.*

THEOREMA 140.

659. *Si corpus in peripheria circuli revolvitur & vis centripeta ad punctum quodcunque intra circulum datum* O *tendat; erit ea in ratione composita reciproca ex duplicata radii vectoris* OM *& triplicata chordæ* AM. Tab. XVI. Fig. 163.

DE-

DEMONSTRATIO.

Ducatur ex centro virium O ad tangentem PR perpendicularis OP, itidem chorda BM, sitque in C centrum circuli. Quoniam angulus P *per construct.* & AMD (§. 317. *Geom.*) rectus est ac praeterea $o = x$ (§. 323. *Geom.*); erit AD : AM = OM : OP (§. 267. *Geom.*), adeoque $OP = \frac{OM.AM}{AD}$, consequenter $OP^3 = \frac{OM^3.AM^3}{AD^3}$.

Est vero vis centripeta in $M = \frac{MO}{OP^3.DC}$ (§. 657. *Mechan.* & §. 324. *Analys. infin.*). Quare eadem $= \frac{MO.AD^3}{AM^3.OM^3.DC}$, consequenter cum AD & DC constantes sint, seu in omni puncto curvæ eædem, vis centripeta $= \frac{1}{AM^3.OM^2}$ (§. 178. 181. *Arithm.*), hoc est, in ratione composita reciproca ex duplicata radii vectoris OM & triplicata chordæ AM. *Q. e. d.*

THEOREMA 141.

Tab. XVII. Fig. 163. a. 660. *In omni sectione conica vis centripeta tendens ad focum curvæ est reciproce in ratione duplicata radii vectoris, seu distantiæ a foco.*

DEMONSTRATIO.

Sit AMN sectio conica quæcunque, parabola, ellipsis vel hyperbola. Sit focus in O & in eo centrum virium. Tangat TM sectionem conicam in M. Ducatur radius vector OM & ex O perpendicularis ad tangentem OP. Ducatur præterea MH ad curvam normalis & ex H perpendicularis HR ad radium vectorem OM; erit ob OP & MH parallelas (§. 256. *Geom.*) $o = x$ (§. 233. *Geom.*), adeoque ob rectos ad P & R *per construct.* MO : OP = MH : MR (§. 267. *Geom.*), consequenter $OP = \frac{MO.MR}{MH}$. Est vero MR æqualis semiparametro (§. 416. 458. 504. *Analys. finit.*), adeoque $= \frac{1}{2}a$, si ea dicatur a. Ergo $OP = \frac{MO.\frac{1}{2}a}{MH}$ & ideo $OP^3 = \frac{MO^3.a^3}{8MH^3}$. Porro in omni sectione conica radius osculi $= \frac{4MH^3}{a^2}$ (§. 322. 325. 327. *Anal. infin.*). Quare cum vis centripeta sit ut $\frac{MO}{PO^3.MC}$ (§. 657.), substitutis valoribus PO^3 & radii osculi MC, repe-

reperitur ea $\frac{8MO.MH^3.a^2}{4MO^3.MH^3.a^3} = \frac{2}{MO^2a}$, hoc est, ob 2 & a constantes quantitates in omni puncto curvæ $= \frac{1}{MO^2}$ (§. 178. 181. *Arithm.*). Vis igitur centripeta tendens ad focum sectionis conicæ est reciproce ut quadratum distantiæ a foco, seu radii vectoris. *Q. e. d.*

SCHOLION.

661. *Quoniam proprietas hæc sectionibus conicis communis & ex communibus earum proprietatibus fluit; ideo conveniens est ut generaliter ex iisdem demonstretur. Mensuram virium centripetarum ut* $\frac{MO}{PO^3.MC}$ *superius demonstratam* (§. 657.) *invenit* Joannes Bernoulli *et eam communicavit cum* Abrahamo de Moivre, *Geometra eximio* (*). *Quod vero eadem conveniat cum mensuris aliorum, quas quantitates infinite parvæ ingrediuntur, sequente problemate ostendere lubet.*

PROBLEMA 110.

662. *Invenire vim centripetam in qualibet curva.*

RESOLUTIO.

Tab. XVI. Fig. 161. Sit O centrum virium, MO radius vector, MC radius osculi, & OP ad tangentem PM perpendicularis. Describatur ex centro virium O radio vectore MO arcus infinite parvus MK. Fiat MC $= n$, MO $= x$, erit mK $= dx$. Sit porro MK $= dz$ & arculus curvæ Mm $= ds$: tempus vero per arcum Mm $= dt$. Quoniam hoc est ut sector OMK (§. 652.); erit $dt =$ MK.$\frac{1}{2}$MO seu ob determinatam quantitatem $\frac{1}{2}$, ut MK.MO (§. 178. *Arithm.*), adeoque ut xdz. Porro cum ad P sit rectus *per constr.* & K rectus (§. 38. *Analys. infinit.*) & ob infinite parvum MOm $=$ o (§. 3. *Analys. infin.*) PMO $=$ MmK (§. 239. *Geom.*); erit (§. 267. *Geom.*)

$$Mm : MK = MO : OP$$

$$ds : dz = x : \frac{xdz}{ds}$$

Est igitur $OP^3 = \frac{x^3dz^3}{ds^3}$ & hinc, cum vis centralis $\frac{MO.}{OP^3.MC}$ (§. 657.), erit ea

$$= x : \frac{nx^3dz^3}{ds^3}$$

$$= \frac{ds^3}{nx^2dz^3}$$

Est vero $dt = xdz$ *per demonstr.* & hinc $dt^2 = x^2dz^2$

Quare vis centralis $= \frac{ds^3}{ndzdt^2}$

Atque hic est character analyticus unus, quem dedit *Varignonius* (y).

ALI-

(*) vid. Comment. A. 1710. p. 520 edit. Par.
(y) in Comment. A. 1701. p. [illegible] edit. Bat.

ALITER.

Quoniam angulus CMR rectus (§. 317. *Anal. infin.*); erit MRm ab eodem non differens nisi quantitate infinite parva MCR (§. 239. *Geom.*) itidem rectus (§. 4. *Analyſ. infin.* & §. 145. *Geom.*) & ex eadem ratione MmR etiam rectus. Quamobrem mR haberi poteſt pro arculo radio Mm deſcripto ex centro M (§. 38. *Analyſ. infin.*). Cum adeo ſit Mm = MR (§. 40. *Geom.*); erit RN differentia inter arcum Mm & portionem tangentis MN, ſeu differentia ſecunda arculi Mm. Unde ſi M$m = ds$, ut ante, RN$=dds$. Sit porro ut ante MK$=dz$, MO$=x$, adeoque Km $= dx$: tempuſculum vero per arculum M$m = dt$. Cum MmK + KmC ſit rectus (§. 317. *Analyſ. infin*), & RNm + RnN itidem rectus (§. 241. *Geom.*), ſit vero KmC=RmN (§. 156. *Geom.*); erit MmK=RNm (§. 91. *Arithm.*).

Eſt vero præterea NRm rectus *per demonſtr.* & MKm itidem rectus (§. 38. *Analyſ. infin.*). Quamobrem (§. 267. *Geom.*).

$$Km : MK = NR : mR$$
$$dx : dz = dds : \frac{ddsdz}{dx}$$

Porro cum CMR ſit rectus & Mm ad RC perpendicularis *per demonſtr.* erit (§. 327. *Geom.*)

$$mR : mM = mM : mC$$
$$\frac{ddsdz}{dx} : ds = ds : \frac{ds^2dx}{dzdds}$$

Eſt itaque CM $= n = \frac{ds^2dx}{dzdds}$

Jam vis centralis ante reperta fuit $\frac{ds^3}{ndzdt^2}$. Quare ſi ſubſtituatur valor radii circuli oſculatoris n modo inventus; prodibit vis centralis $= \frac{ds^3dzdds}{ds^2dzdxdt^2} = \frac{dsdds}{dxdt^2}$.

Atque hæc eſt formula altera, quam dedit *Varignonius* (z).

SCHOLION.

663. *Quodſi beneficio harum formularum vis centralis in circulo & ſectionibus conicis eruere volueris, quemadmodum ante factum eſt; multo difficilius idem fieri intelliges, quam in anterioribus a nobis factum eſt. Sufficit itaque oſtendiſſe, quomodo formula, qua nos uſi ſumus, in Varignonianas degeneret.*

PROBLEMA III.

664. *Data lege virium centripetarum & conceſſis quadraturis, invenire trajectoriam, in qua mobile incedit.*

(z) in Comment. Acad. Reg. Scient. A. 1700. p. 288.

Digitized by Google

RESOLUTIO.

Tab. XVII. Fig. 164. Sit in O centrum virium, AC trajectoria, AO ejus axis, AL arcus radio AO descriptus. Ducantur radii OL & Ol infinite propinqui & radiis OB ac Ob describantur arcus EB & eb. Fiat denique AO $= a$, AL $= z$, OE $= x$; erit Ee $=$ BN $= dx$, Ll $= dz$ & ob sectores similes ObN ac OlL (§. 138. 412. *Geom.*).

$$OL : Ll = Ob : bN$$
$$a : dz = x : \frac{xdz}{a}$$

Sit celeritas, qua mobile fertur in B $= c$ & vis centralis $= v$. Quoniam massa mobilis eadem existente sive $= 1$, elementum celeritatis dc, quod positivum vel negativum esse potest, prout celeritas vel augetur, vel minuitur, est ut elementum temporis in vim sollicitantem sive centralem ductum (§. 113.); tempus vero per BN ob motus in spatiolo infinite parvo æquabilitatem ut $\frac{dx}{c}$ (§. 39.); erit

$$-dc = \frac{vdx}{c}$$
$$-cdc = vdx$$
$$-\tfrac{1}{2}c^2 = \int vdx$$

hoc est, omissa quantitate constante $\frac{1}{2}$, cum hic tantummodo rationum habeatur ratio, (§. 181. *Arithm.*) & addita constante homogenea ex lege integrationis (§. 95. *Analys. infin.*).

$$ab - c^2 = \int vdx$$
$$ab - \int vdx = c^2$$
$$\sqrt{(ab - \int vdx)} = c.$$

Quoniam motus per Bb in tempusculo infinite parvo peractus æquabilis, erit spatium Bb $= cdt$ (§. 34.)

adeoque $Bb = dt\sqrt{(ab - \int vdx)}$

Sed dt ut BO . bN (§. 652.)

$$= \frac{x^2dz}{a}$$

$$\text{Ergo } Bb = \frac{x^2dz(\sqrt{ab - \int vdx})}{a}$$

$$Bb^2 = \frac{x^4dz^2(ab - \int vdx)}{a^2}$$

$$\text{Jam } BN^2 = dx^2$$
$$bN^2 = \frac{x^2dz^2}{a^2}$$
$$Bb^2 = dx^2 + \frac{x^2dz^2}{a^2}$$
$$= \frac{a^2dx^2 + x^2dz^2}{a^2}$$

Habe-

Digitized by Google

Habemus itaque

$$\frac{a^2dx^2 + x^2dz^2}{a^2} = x^4dz^2 \frac{(ab - \int vdx)}{a^2}$$

hoc est, ut observetur lex homogeneorum,

$$a^4c^2dx^2 + a^2c^2x^2dz^2 = x^4dz^2 (ab - \int vdx)$$

$$a^4c^2dx^2 = x^4dz^2 (ab - \int vdx) - a^2c^2x^2dz^2$$

$$\frac{a^4c^2dx^2}{x^4(ab - \int vdx) - a^2c^2x^2} = dz^2$$

$$\frac{a^2cdx}{\sqrt{(abx^4 - x^4\int vdx - a^2c^2x^2)}} = dz$$

$$z = \int (a^2cdx : \sqrt{(abx^4 - x^4\int vdx - a^2c^2x^2)})$$

Hæc est æquatio generalis ad trajectoriam, in qua mobile data vi centrali v ad punctum O urgetur, & in qua c denotat quantitatem arbitrariam constantem ex lege homogeneorum assumendam.

SCHOLION.

665. *Æquationem hanc generalem ad trajectoriam invenit* Joannes Bernoulli *problema inversum de trajectoriis, in quibus vires centrales sunt reciproce ut quadrata distantiarum, soluturus ac inde casum hunc specialem non sine artificio deduxit* (a): *majoris enim artis est solvere problema in casu speciali, quam generaliter. Ut vero solutionem nostro more cum primis Matheseos principiis perspicue connectamus, problemata quædam per modum Lemmatum præmittenda sunt.*

PROBLEMA 112.

666. *Invenire æquationem ad parabolam, abscissis a foco computatis.* Tab. XVII Fig. 163. b.

RESOLUTIO.

Sit in Parabola QO $= x$, QM $= y$, parameter $= p$; erit AO $= \frac{1}{4}p$ (§ 396. *Analys. fin.*), adeoque AQ $= \frac{1}{4}p + x$, consequenter $y^2 = \frac{1}{4}p^2 + px$ (§. 388. *Analys. fin.*). *Q. e. i. & d.*

PROBLEMA 113.

667. *Invenire æquationem ad Ellipsin abscissis a foco computatis.* Tab. XVII Fig. 165.

RESOLUTIO.

Sit in F focus ellipsis & in C centrum. Fiat AB $= m$, parameter $= p$, CP $= x$: erit FA $= \frac{1}{2}m - \sqrt{(\frac{1}{4}m^2 - \frac{1}{4}pm)}$ (§. 427. *Analys. finit.*), adeoque

$$AP = \tfrac{1}{2}m - \sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 - \tfrac{1}{4}pm)} - x$$
$$PB = \tfrac{1}{2}m + \sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 - \tfrac{1}{4}pm)} + x.$$
$$AP.PB = \tfrac{1}{4}pm - 2x\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 - \tfrac{1}{4}pm)} - x^2$$

 Jam

(a) in Comment. Acad. Reg. Scient. A. 1710. p. 691. & seqq.

Digitized by Google

Jam ex natura Ellipſeos (§. 420. *Analyſ. fin.*).

$$y^2 : \tfrac{1}{4}pm - 2x\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 - \tfrac{1}{4}pm)} - x^2 = p : m$$

Ergo

$$y^2 = \tfrac{1}{4}p^2 - \frac{2px}{m}\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 - \tfrac{1}{4}pm)} - \frac{px^2}{m}.$$ *Q. e. i. & d.*

PROBLEMA 114.

Tab. XVI. Fig. 163. b. 668. *Invenire æquationem ad Hyperbolam abſciſſis a foco computatis.*

RESOLUTIO.

Sit focus hyperbolæ in O, centrum C, axis dimidius transverſus CA. Sit 2AC $= m$, parameter $= p$, OQ $= x$, QM $= y$: erit AO $= \sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 + \tfrac{1}{4}pm)} - \tfrac{1}{2}m$ (§. 463. *Analyſ. fin.*), adeoque

$$AQ = \sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 + \tfrac{1}{4}pm)} - \tfrac{1}{2}m + x$$
$$AQ + 2AC = \sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 + \tfrac{1}{4}pm)} + \tfrac{1}{2}m + x.$$

$$AQ(AQ + 2AC) = \tfrac{1}{4}pm + 2x\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 + \tfrac{1}{4}pm)} + x^2$$

Quare cum ſit ex natura Hyperbolæ (§. 459. *Analyſ. fin.*).

$$y^2 : \tfrac{1}{4}pm + 2x\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 + \tfrac{1}{4}pm)} + x^2 = p : m$$

erit

$$y^2 = \tfrac{1}{4}p^2 + \frac{2px}{m}\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 + \tfrac{1}{4}pm)} + \frac{px^2}{m}$$

Q. e. i. & d.

PROBLEMA 115.

669. *Invenire trajectoriam, in qua mobile incedit, ſi vis centripeta, qua urgetur, fuerit reciproce in ratione duplicata radii vectoris.* Tab. XVII Fig. 164.

RESOLUTIO.

Quoniam in ſolutione generali radium vectorem diximus x, erit vis centralis $v = \frac{1}{x^2} = \frac{a^2g}{x^2}$, ſervata lege homogeneorum, ut commode valor in formula generali ſubſtitui poſſit. Cum itaque elementum arcus L$l = dz$ (§. 664.) in caſu generali; $=$

$$\frac{a^2cdx}{\sqrt{(abx^4 - x^4\int vdx - a^2c^2x^2)}}$$

erit idem in caſu ſpeciali

$$\frac{a^2cdx}{x\sqrt{(abx^2 - x^2\int \frac{a^2gdx}{x^2} - a^2c^2)}}$$

Sed $\int \frac{a^2gdx}{x^2} = \int a^2gx^{-2}dx = -a^2gx^{-1}$

Quare $dz = \frac{a^2cdx}{x\sqrt{(abx^2 + a^2gx - a^2c^2)}}$

Cum dz ſive Ll ſit elementum arcus a forma ordinaria diſcedens, ut ad eam reducatur, fiat

$x =$

Digitized by Google

$$x = \frac{a^2}{y}$$

erit $dx = -\frac{a^2 dy}{y^2}$ & $x^2 = \frac{a^4}{y^2}$

adeoque $dz = -a^4 c dy : y^2$

$$\frac{}{a^2 \sqrt{\left(\frac{a^5 b}{y^2} + \frac{a^4 g}{y} - a^2 c^2\right)}}$$

$$= \frac{-a^4 c dy}{a^2 y \sqrt{\left(\frac{a^5 b}{y^2} + \frac{a^4 g}{y} - a^2 c^2\right)}}$$

$$= \frac{-a^4 c dy}{a^3 \sqrt{(a^3 b + a^2 g y - c^2 y^2)}}$$

$$= \frac{-a c dy}{\sqrt{(a^3 b + a^2 g y - c^2 y^2)}}$$

Fiat porro $y = \frac{a^2 g}{2c^2} - t$

erit $y^2 = \frac{a^4 g^2}{4c^4} - \frac{a^2 g t}{c^2} + t^2$

adeoque $-c^2 y^2 = -\frac{a^4 g^2}{4c^2} + a^2 g t - c^2 t^2$

$$a^2 g y = \frac{a^4 g^2}{2c^2} - a^2 g t$$

$$dy = -dt$$

Unde tandem habetur

$$dz = \frac{a c dt}{\sqrt{\left(a^3 b + \frac{a^4 g^2}{4c^2} - c^2 t^2\right)}}$$

Fiat denique $a^3 b + \frac{a^4 g^2}{4c^2} = c^2 b^2$

erit $dz = \frac{a c dt}{c \sqrt{(b^2 - t^2)}}$

$$\frac{dz}{a} = \frac{dt}{\sqrt{(b^2 - t^2)}}$$

$$= \frac{1}{b} \cdot \frac{b dt}{\sqrt{(b^2 - t^2)}}$$

Habemus adeo elementum circuli $\frac{b dt}{\sqrt{(b^2 - t^2)}}$, cujus radius b, sinus rectus t (§. 153. *Anal. infin.*), per radium b divisum & $\frac{dz}{a}$ est itidem elementum circuli Ll per radium LO divisum vi denominationis in solutione generali (§. 664.) factæ. Jam dato radio datoque arcu, datur angulus (§. 57. *Geom.*), atque adeo ratio arcus ad radium, consequenter arcus per radium divisus (§. 129. *Arithm.*), exprimit angulum, nempe $\frac{dz}{a}$ angulum LOl & $\int \frac{dz}{a}$ angulum AOL, pariterque $\frac{b dt}{b \sqrt{(b^2 - t^2)}}$ angulum priori LOl & $\int \frac{b dt}{b \sqrt{(b^2 - t^2)}}$ alium posteriori AOL

æqua-

Digitized by Google

æqualem, cujus radius b, sinus totus t. Unde jam fluit constructio curvæ ABC istiusmodi.

Radio $h = \sqrt{\left(\frac{a^2 b}{c^2} + \frac{a^4 g^2}{4c^4}\right)}$ describatur quadrans MKT sumtoque arcu AL $= z$ pro arbitrio ducatur recta OL secans quadrantem istum in K, erit arcus KM $= \int \frac{hdt}{\sqrt{(h^2 - t^2)}}$ & KI $= t$.

Jam porro inveniri potest radius OB sive OE. Quoniam enim

$$y = \frac{a^2 g}{2c^2} - t = \frac{a^2 g - 2c^2 t}{2c^2}$$

$$\& \; x = \frac{a^2}{y}$$

$$\text{erit } x = \frac{2a^2 c^2}{a^2 g - 2c^2 t}$$

$$= \frac{2c^2}{g - \frac{2c^2 t}{a^2}}$$

Est igitur $a : c = c : \frac{c^2}{a}$ & $a : t = \frac{c^2}{a} : \frac{c^2 t}{a^2}$, ac denique $g - \frac{2c^2 t}{a^2} : c = 2c : \frac{2c^2}{g - 2c^2 t : a^2}$: Quodsi recta OB hoc modo inventa ex centro O describatur arcus EB, intersecabit is radium O in B, eritque punctum B in trajectoria quæsita.

PROBLEMA 112.

670. *Invenire æquationem ad trajectoriam, in qua vires centripetæ sunt reciproce ut quadrata distantiarum a centro virium.* Tab. XVII Fig. 167.

RESOLUTIO.

Sit OQ $= \frac{a^2 g}{2c^2}$ & OP $= t$; erit

$$PQ = \frac{a^2 g}{2c^2} - t = y \; (\text{§. } 669.).$$

Quoniam OB $= x = \frac{a^2}{y}$; si intra asymptotos QO & QR describatur hyperbola GNV, latere potentiæ existente $= a$ (§. *489 Analys. fin.*) erit PN $= a^2 : y$ (§. *488. Analys. finit.*). Fiat jam OF $= x$, FB $= y$, reliqua sint ut ante; erit (§. *268 Geom.*):

$$OP : OS = OF : OB$$

$$t : b = x : \frac{bx}{t}$$

$$\text{Sed OB} = \frac{2a^2 c^2}{a^2 g - 2c^2 t} \; (\text{§. } 669.).$$

$$\text{Ergo } \frac{bx}{t} = \frac{2a^2 c^2}{a^2 g - 2c^2 t}$$

$$a^2 gbx - 2c^2 btx = 2a^2 c^2 t$$

$$a^2 gbx = 2c^2 btx + 2a^2 c^2 t$$

$$\frac{a^2 gbx}{2c^2 bx + 2a^2 c^2} = t$$

Porro

Porro (§ *cit. Geom.*)

$$OP : PS = OF : FB$$

$$t : \sqrt{(b^2 - t^2)} = x : y$$

$$x\sqrt{(b^2 - t^2)} = ty$$

$$b^2x^2 - t^2x^2 = t^2y^2$$

$$b^2x^2 = t^2x^2 + t^2y^2$$

$$\frac{b^2x^2}{x^2 + y^2} = t^2$$

Est vero etiam *per demonstrata*

$$t^2 = \frac{a^4 g^2 b^2 x^2}{4a^4c^4 + 8a^2c^4bx + 4c^2b^2x^2}$$

Habemus igitur

$$\frac{b^2x^2}{x^2 + y^2} = \frac{a^4g^2b^2x^2}{4a^4c^4 + 8a^2c^4bx + 4c^2b^2x^2}$$

$$\frac{1}{x^2 + y^2} = \frac{a^4g^2}{4a^4c^4 + 8a^2c^4bx + 4c^2b^2x^2}$$

$$4a^4c^4 + 8a^2c^4bx + 4c^2b^2x^2 = a^4g^2x^2 + a^4g^2y^2$$

$$y^2 = \frac{4c^2b^2x^2}{a^4g^2} - x^2 + \frac{8c^4bx}{a^2g^2} + \frac{4c^4}{g^2}$$

Quæ est æquatio ad Trajectoriam quæsitam. Cum ea sit quadratica, erit ad sectionem conicam. Habemus itaque.

(*Wolfii Math. Tom. 2.*)

Theorema. Si corpus in trajectoria urgetur a vi centripeta, quæ est reciproce ut quadratum distantiæ a centro virium; erit trajectoria ista aliqua sectio conica.

Ut appareat, ad quamnam sectionem conicam sit æquatio; comparetur ea cum æquationibus singularum sectionum conicarum, quas ante reperimus, abscissis a foco computatis. Quoniam pro Parabola, cujus parameter $= p$, (§. 666.).

$$y^2 = \tfrac{1}{4}p^2 + px$$

Æquatio vero ad trajectoriam *per demonstr.*

$$y^2 = \frac{4c^4b^2x^2}{a^4g^2} - x^2 + \frac{8c^4bx}{a^2g^2} + \frac{4c^4}{g^2}$$

ob deficientem in Parabola secundum terminum erit

$$\frac{4c^4b^2}{a^4g^2} - 1 = 0$$

$$4c^4b^2 = a^4g^2$$

$$b^2 = \frac{a^4g^2}{4c^4}$$

$$b = \frac{a^2g}{2c^2}$$

Est vero per constructionem $b = OT = OS$ & $\frac{a^2g}{2c^2} = OQ$.

Trajectoria igitur parabola est, si $OT = OQ$.

In calculo sumsimus

$$b = \sqrt{\left(\frac{a^3b}{c^2} + \frac{a^4g^2}{4c^4}\right)}$$

in casu parabolæ

$$\frac{a^3b}{c^2} = 0$$

adeoque $b = 0$

$$p = \frac{8c^4b}{a^4g^2} \qquad \tfrac{1}{4}p^2 = \frac{4c^4}{g^2}$$

$$= \frac{8c^4a^2g}{2a^4c^2g^2} \qquad p^2 = \frac{16c^4}{g^2}$$

$$= \frac{4c^2}{g} \qquad p = \frac{4c^2}{g}$$

Parameter adeo parabolæ est tertia proportionalis ad g & $2c$.

Æquatio pro ellipsi abscissis a foco computatis est (§. 667),

$$y^2 = -\frac{px^2}{m} - \frac{2px}{m}\sqrt{\left(\tfrac{1}{4}m^2 - pm\right)} + \tfrac{1}{4}p^2$$

Æquatio ad trajectoriam per demonstrata

$$y^2 = \frac{4c^4b^2x^2}{a^4g^2} + 8\frac{c^4bx}{a^2g^2} + \frac{4c^4}{g^2} - x^2$$

Habemus itaque

$$\tfrac{1}{4}p^2 = \frac{4c^4}{g^2}$$

$$p^2 = \frac{16c^4}{g^2}$$

$$p = \frac{4c^2}{g}$$

Parameter adeo eadem, quæ in parabola

Porro $-\frac{p}{m} = \frac{4c^4b^2}{a^4g^2} - 1$

hoc est $1 - \frac{4c^2}{mg} = \frac{4c^4b^2}{a^4g^2}$

$$a^4g^2 - \frac{4a^4c^2g}{m} = 4c^4b^2$$

$$b^2 = \frac{a^4g^2}{4c^4} - \frac{a^4g}{mc^2}$$

$$b = \sqrt{\left(\frac{a^4g^2}{4c^4} - \frac{a^4g}{mc^2}\right)}$$

In Ellipsi adeo $\frac{a^2g}{2c^2} > b$

hoc est, $OQ > OT$

Quod-

Quodsi ulterius desideretur valor ipsius m, fiat

$$-\frac{2p}{m}\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 - \tfrac{1}{4}pm)} = \frac{8c^4b}{a^2g^2}$$

hoc est, $-\frac{8c^2}{mg}\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 - \frac{c^2m}{g})} = \frac{8c^4b}{a^2g^2}$

$$-\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 - \frac{c^2m}{g})} = \frac{mc^2b}{a^2g}$$

$$\tfrac{1}{4}m^2 - \frac{c^2m}{g} = \frac{m^2c^4b^2}{a^4g^2}$$

$$\tfrac{1}{4}m - \frac{c^2}{g} = \frac{mc^4b^2}{a^4g^2}$$

$$a^4g^2m - 4a^4c^2g = 4mc^4b^2$$

$$a^4g^2m - 4mc^4b^2 = 4a^4c^2g$$

$$m = \frac{4a^4c^2g}{a^4g^2 - 4c^4b^2}$$

Æquatio pro hyperbola abscissis a foco computatis est (§. 668.).

$$y^2 = \frac{px^2}{m} + \frac{2px}{m}\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2 + \tfrac{1}{4}pm)} + \tfrac{1}{4}p^2$$

Æquatio ad trajectoriam est

$$y^2 = \frac{4c^4b^2x^2}{a^6g^2} + \frac{8c^4bx}{a^2g^3} + \frac{4c^4}{g^2} - x^2$$

$$\tfrac{1}{4}p^2 = \frac{4c^4}{g^2}$$

$$\tfrac{1}{2}p = \frac{2c^2}{g}$$

$$p = \frac{4c^2}{g}$$

Eadem ergo parameter in hyperbola, quæ in ceteris sectionibus conicis.

$$\frac{p}{m} = \frac{4c^4b^2}{a^4g^2} - 1$$

hoc est $\frac{4c^2}{gm} = \frac{4c^4b^2 - a^4g^2}{a^4g^2}$

$$4a^4c^2g^2 = 4c^4b^2gm - a^4g^3m$$

$$4a^4c^2g^2 + a^4g^3m = 4c^4b^2gm$$

$$\frac{4a^4c^2g + a^4g^2m}{4c^4m} = b^2$$

$$\sqrt{(\frac{a^4g^2}{4c^4} + \frac{a^4g}{c^2m})} = b$$

Jam cum $QO = \frac{a^2g}{2c}$ & $TO = b$, sitque $\frac{a^2g}{2c} < b$; erit $QO < TO$, quando trajectoria hyperbola.

Si ulterius desideretur valor ipsius m, fiat

$$\frac{2p}{m}\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2+\tfrac{1}{4}pm)} = \frac{8c^4b}{a^2g^2}$$

hoc est, ob $p = \frac{4c^2}{g}$,

$$\frac{8c^2}{gm}\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2+\tfrac{1}{4}pm)} = \frac{8c^4b}{a^2g^2}$$

$$\sqrt{(\tfrac{1}{4}m^2+\tfrac{1}{4}pm)} = \frac{mc^2b}{a^2g}$$

$$\tfrac{1}{4}m^2 + \tfrac{1}{4}pm = \frac{m^2c^4b^2}{a^4g^2}$$

$$m + p = \frac{4mc^4b^2}{a^4g^2}$$

hoc est, $m + \frac{4c^2}{g} = \frac{4mc^4b^2}{a^4g^2}$

$$a^4g^2m + 4a^4c^2g = 4mc^4b^2$$

$$4a^4c^2g = 4mc^4b^2 - a^4g^2m$$

$$\frac{4a^4c^2g}{4c^4b^2 - a^4g^2} = m$$

Quodsi datis m & p per literas assumtitias b, c, g & b harum valores desiderentur per m & p, æquationum reductione facta facile determinantur.

Est enim $p = \frac{4c^2}{g}$ $\quad b = \frac{a^2g}{2c^2}$

$$g = \frac{4c^2}{p} \qquad c^2 = \frac{a^2g}{2b}$$

$$c^2 = \tfrac{1}{4}pg$$

$$\tfrac{1}{4}pg = \frac{a^2g}{2b}$$

$$p = \frac{2a^2}{b}.$$

$$b = \frac{2a^2}{p}$$

Si ergo p datur & c pro arbitrio assumitur, cum in omni sectione conica sit $p=4c^2:g$, valor ipsius g omni sectioni conicæ respondet. Ast cum in parabola tantummodo sit $b=a^2g:2c^2$; valor ipsius b per a & p determinatus parabolæ proprius. Unde si valores quantitatum g & b modo repertos substituas in æquatione ad trajectoriam, in æquationem ad parabolam abscissis a foco computatis eadem degenerat. Nimirum æquatio ad trajectoriam (§. 670.).

$$y^2 = \frac{4c^4b^2x^2}{a^4g^2} + \frac{8c^4bx}{a^2g^2} + \frac{4c^4}{g^2} - x^2$$

Porro

$$g = \frac{4c^2}{p} \qquad b = \frac{2a^2}{p}$$

$g^2 =$

$$g^2 = \frac{16c^4}{p^2} \qquad b^2 = \frac{4a^4}{p^2}$$

Quare

$$\frac{4c^4b^2}{a^4g^2} = \frac{16a^4c^4p^2}{16a^4c^4p^2} = 1$$

Coëfficiens itaque ipsius $x^2 = 1 - 1 = 0$, atque adeo hic terminus in æquatione, quæ quæritur, deficit.

$$\frac{8c^4b}{a^2g^2} = \frac{16a^2c^4p^2}{16a^2c^4p} = p$$

$$\frac{4c^4}{g^2} = \frac{4c^4p^2}{16c^4} = \tfrac{1}{4}p^2$$

Unde prodit æquatio $y^2 = px + \frac{1}{4}p^2$, quæ est ad parabolam abscissis a foco computatis (§.666.).

Quodsi valor ipsius b in ellipsi vel hyperbola desideretur, in æquationibus $b^2 = \frac{a^4g^2}{4c^4} - \frac{a^4g}{mc^2}$ & $b^2 = \frac{a^4g^2}{4c^4} + \frac{a^4g}{mc^2}$ substituendus est valor ipsius g. Nimirum

$$g = \frac{4c^2}{p} \qquad g^2 = \frac{16c^4}{p^2}$$

Ergo $b^2 = \frac{16a^4c^4}{4c^4p^2} \mp \frac{4a^4c^2}{mpc^2}$

$$= \frac{4a^4}{p^2} \mp \frac{4a^4}{mp}$$

$$= \frac{4a^4m \mp 4a^4p}{mp^2}$$

$$b = \frac{2a^2}{p}\sqrt{\left(1 \mp \frac{p}{m}\right)}$$

Si denique valor ipsius b desideretur, in æquatione $a^3b + \frac{a^4g^2}{4c^2} = c^2b^2$ substituendus est valor ipsius g^2 & b^2.

In parabola

$$g^2 = \frac{16c^4}{p^2} \quad b^2 = \frac{4a^4}{p^2}$$

Unde $a^3b + \frac{16a^4c^4}{4c^2p^2} = \frac{4a^4c^2}{p^2}$

h. e. $a^3b + \frac{4a^4c^2}{p^2} = \frac{4a^4c^2}{p^2}$

$$a^3b = 0$$

$$b = 0$$

Quemadmodum jam supra reperimus.

In Hyperbola.

$$b^2 = \frac{4a^4m + 4a^4p}{mp^2} \quad g^2 = \frac{16c^4}{p^2}$$

Ergo $a^3b + \frac{16a^4c^4}{4c^2p^2} = \frac{4a^4mc^2 + 4a^4c^2p}{mp^2}$

$$a^3b = \frac{4a^4mc^2 + 4a^4pc^2}{mp^2} - \frac{4a^4c^2}{p^2}$$

 =4

$$= \frac{\frac{4a^4c^2}{mp}}{}$$

$$b = \frac{4ac^2}{mp}$$

In ellipsi idem prodit valor, sed negativus.

SCHOLION.

671. A theoria virium centralium pendet solutio problematis de curva, in qua grave descendens eandem ubique premit vi ponderi absoluto æquali: quod a Johanne Bernoulli *propositum* (b) *solvit* Hospitalius (c). *Ejus igitur solutionem hic subnectere libet.*

PROBLEMA 117.

Tab. XVII Fig. 168. 672. *Invenire curvam, in qua grave descendens motu naturaliter accelerato eandem in singulis punctis premat vi ubique æquali ponderi corporis absoluto, seu, si* MC *sit radius evolutæ in puncto* M, *ut ubique filum* MC *eadem vi tendat.*

RESOLUTIO.

Sit AH axis curvæ, AB altitudo, per quam cadendo acquirit celeritatem initialem, qua descensum in curva inchoat: PM & *pm* sint ordinatæ infinite propinquæ, MC radius evolutæ ad curvam BMK ex evolutione descriptam normalis (§. 317. *Analyf. infinit.*): Producatur PM in N & repræsentet MN pondus absolutum corporis descendentis. Producatur itidem radius evolutæ CM indefinite & in eum sic productum ex N demittatur perpendicularis NO; repræsentabit MO partem ponderis, quo premitur curva in puncto M, seu planum, in quo est tangens curvæ in puncto M (§. 47. *Geom.*).

Enimvero filum CM non modo tenditur in M ab hac gravitatis parte, quod est ut MO, verum etiam a vi centrifuga, quam habet in arculo M*m* radio evolutæ MC descripto. Quamobrem aggregatum ex ea gravitatis parte & conatu centrifugo in M est æquale ponderi absoluto *per hypoth.*

Sit jam conatus centrifugus = V, erit (§. 639.)

$$MC : 2PM = MN : V$$

adeoque $V = \frac{2PM \cdot MN}{MC}$,

consequenter

$$MN = \frac{2PM \cdot MN}{MC} + MO$$

per demonstr.

Sit igitur MN = *a*, quia MN pondus

(b) in Actis Erudit. Supplem. T. 2. p. 291.
(c) in Comment. Acad. Reg. Scient. A. 1700. p. 11.

Digitized by Google

dus absolutum denotans constans est, $AP = x$, $PM = y$, arcus curvæ $BM = v$; erit $Pp = MR = dx$, $mR = dy$, $Mm = dv$, & $MC = tdv : dx$ (§. 320. *Anal. infin.*).

Ut valor ipsius t determinetur, fiat ut ibidem differentiale ipsius $MC = 0$. Sed quia in singulis arculis Mm pressio eadem *per hypoth.* ubivis assumendi sunt æquales, atque adeo $Mm = dv$ quantitas constans. Sumta igitur in differentiatione dv pro constante, prodibit

$$\frac{dvdtdx - tdvddx}{dx^2} = 0$$

$$dvdtdx = tdvddx$$

$$\frac{dtdx}{ddx} = t$$

Est vero $dt = dy$ (§. *cit. Analys. infin.*).

Ergo $t = \frac{dydx}{ddx}$.

Substituatur hic valor in expressione radii osculi, seu evolutæ $MC = tdv : dx$; prodibit

$$MC = \frac{dydvdx}{dxddx} = \frac{dydv}{ddx}$$

Porro $CMR + RMm$ est rectus (§. 317. *Analys. infin.*) & $PMC + CMR$ itidem rectus ob MR & Pp perpendiculares ad pR alteri PM parallelam (§. 230. *Geom.*). Quamobrem $CMR + RMm = PMC + CMR$ (§. 145. *Geom.*), adeoque $RMm = CMP$ (§. 91. *Arithm.*). Est vero $CMP = OMN$ (§. 156. *Geom.*). Ergo $RMm = OMN$ (§. 87. *Arithm.*). Quoniam præterea anguli O & R recti sunt *per constr.* erit (§. 267. *Geom.*).

$$Mm : MR = MN : NO$$
$$dv : dx = a : \frac{adx}{dv}.$$

Denique cum sit

$$MC : MN = 2PM : \frac{2PM.MN}{MC}$$

hoc est, $\frac{dydv}{ddx} : a = 2y : \frac{2ayddx}{dydv}$;

habebimus ob $\frac{MN.2PM}{MC} + MO = MN$ *per demonstrata*

$$\frac{2ayddx}{dydv} + \frac{adx}{dv} = a$$

$$2ayddx + adydx = adydv$$

$$2yddx + dydx = dydv$$

Quodsi coëfficiens 2 abesset, summa membri primi foret ydx. Sed si integrabile fieri debet dividendum est per $2\sqrt{y}$: quo facto prodit

$$\frac{2yddx + dydx}{2\sqrt{y}} = \frac{dydv}{2\sqrt{y}}$$

$dx\sqrt{y} = dv\sqrt{y}$, quia dv constans.

Quoniam vero $dv > dx$, cum dv sit differentiale arcus, dx abscissæ, abjicienda est quantitas constans, quæ vi legis homogeneorum fieri debet $= dv\sqrt{a}$. Habemus adeo

$$dx\sqrt{y} = dv\sqrt{y} - dv\sqrt{a}$$

$$ydx^2 = ydv^2 - 2dv^2\sqrt{ay} + adv^2$$

Sed $dv^2 = dx^2 + dy^2$

Ergo $ydx^2 = ydx^2 + ydy^2 - 2dx^2\sqrt{ay} - 2dy^2\sqrt{ay} + adx^2 + ady^2$

$$2dx^2\sqrt{ay} - adx^2 = ydy^2 + ady^2 - 2dy^2\sqrt{ay}$$

$$dx\sqrt{(2\sqrt{ay} - a)} = dy\sqrt{y} - dy\sqrt{a} = dy(\sqrt{y} - \sqrt{a})$$

$$dx = \frac{dy(\sqrt{y} - \sqrt{a})}{\sqrt{(2\sqrt{ay} - a)}}$$

Fiat $z = 2\sqrt{ay} - a$

erit $dz = \frac{dy\sqrt{a}}{\sqrt{y}}$

$$\frac{dz\sqrt{y}}{\sqrt{a}} = dy$$

Jam $z = 2\sqrt{a}.\sqrt{y} - a$

$$\frac{z}{2\sqrt{a}} = \sqrt{y} - \tfrac{1}{2}\sqrt{a}$$

$$\frac{z}{2\sqrt{a}} + \tfrac{1}{2}\sqrt{a} = \sqrt{y}$$

sive $\frac{z + a}{2\sqrt{a}} = \sqrt{y}$

Porro $\frac{z}{2\sqrt{a}} - \tfrac{1}{2}\sqrt{a} = \sqrt{y} - \sqrt{a}$

seu $\frac{z - a}{2\sqrt{a}} = \sqrt{y} - \sqrt{a}$

Quodsi ergo valores hactenus inventi substituantur in formula $\frac{dy(\sqrt{y} - a)}{\sqrt{(2\sqrt{ay} - a)}}$; prodibit

$$dx = \frac{dz(z + a)(z - a).}{4a\sqrt{a}.\sqrt{z}} = \frac{(z^2 - a^2)dz}{4a\sqrt{az}}$$

$$4adx\sqrt{a} = \frac{z^2dz - a^2dz}{\sqrt{z}} = z^{3:2}dz - a^2z^{-1:2}dz$$

$$4ax\sqrt{a} = \tfrac{2}{5}z^{5:2} - 2a^2z^{1:2}$$

$$2ax\sqrt{a} = \tfrac{1}{5}(z^2 - 5a^2)\sqrt{z}$$

Jam $z^2 = 4ay - 4a\sqrt{ay} + a^2$

$\sqrt{z} = \sqrt{(2\sqrt{ay} - a)}$

Quamobrem $10ax\sqrt{a} = (4ay - 4a\sqrt{ay} - 4a^2)\sqrt{(2\sqrt{ay} - a)}$

5 ax

$$5ax = (2y - 2\sqrt{ay} - 2a)\sqrt{(2a\sqrt{ay} - a^2)}$$

Sit $x = 0$; erit

$$2y - 2\sqrt{ay} - 2a = 0$$
$$2y - 2\sqrt{ay} = 2a$$
$$y - \sqrt{ay} = a$$
$$\tfrac{1}{4}a \quad \tfrac{1}{4}a$$
$$y - \sqrt{ay} + \tfrac{1}{4}a = \tfrac{5}{4}a$$
$$\sqrt{y} - \tfrac{1}{2}\sqrt{a} = \tfrac{1}{2}\sqrt{5a}$$
$$\sqrt{y} = \tfrac{1}{4}\sqrt{a} + \tfrac{1}{2}\sqrt{5a}$$
$$y = \tfrac{6}{4}a + \tfrac{1}{2}a\sqrt{5}$$
$$y = \tfrac{3}{2}a + \tfrac{1}{2}a\sqrt{5} = AB$$

vel

$$2a\sqrt{ay} - a^2 = 0$$
$$\sqrt{ay} = \tfrac{1}{2}a$$
$$ay = \tfrac{1}{4}a^2$$
$$y = \tfrac{1}{4}a$$

Fiat $y = 0$
erit $5ax = -2a\sqrt{a^2}$

$$x = -\tfrac{2}{5}a$$

Curva igitur KMB continuatur ultra punctum B. Nimirum si fiat AG $= \frac{1}{4}a$ & AB $= \frac{3}{2}a + \frac{1}{2}a\sqrt{5}$; curva huic in puncto G & B occurrit.

Si fiat $dx = 0$

erit $dy\sqrt{y} - \sqrt{a} = 0$

$$y = a$$

quo valore in æquatione substituto prodit

$$5ax = (2a - 2\sqrt{a^2} - 2a)\sqrt{(2a\sqrt{a^2} - a^2)}$$
$$x = -\tfrac{2}{5}a.$$

Quodsi ergo fiat AD $= a$ & CD ad eandem perpendicularis $= \frac{2}{5}a$, curva eidem occurrit in puncto G & a recta AB maxime distat.

Quoniam curva verticalem ad angulos rectos secat, ubi differentiale semiordinatæ $= 0$; ut punctum reperiatur, in quo curva rectam AB secat ad angulos rectos, fiat $dy = 0$, erit $dx\sqrt{(2\sqrt{ay} - a)} = 0$

$$y = \tfrac{1}{4}a$$

Quamobrem si fiat AG $= \frac{1}{4}a$, curva secabit AB in G ad angulos rectos & minima semiordinata erit AG.

PROBLEMA 118.

673. *Invenire curvam, in qua mobile descendens eandem quidem constanter eadem vi premit, sed quæ non æqualis est ponderi absoluto.*

RESOLUTIO.

Sint omnia ut in problemate præcedente, nisi quod vis premens dicatur b; erit (§. 672.)

$$\frac{2ayddx}{dydv} + \frac{adx}{dv} = b$$
$$2ayddx + adydx = bdydv$$
$$\frac{2ayddx + adydx}{2\sqrt{y}} = \frac{bdvdy}{2\sqrt{y}}$$

$adx\sqrt{y} = bdv\sqrt{y} - adv\sqrt{a}$ integrando

$$a^2ydx^2 = b^2ydv^2 - 2abdv^2\sqrt{ay} + a^3dv^2$$
$$dv^2 = dy^2 + dx^2$$

$$a^2ydx^2 = b^2ydy^2 + b^2ydx^2 - 2abdy^2\sqrt{ay} - 2abdx^2\sqrt{ay} + a^3dy^2 + a^3dx^2$$

$$a^2ydx^2 - b^2ydx^2 + 2abdx^2\sqrt{ay} - a^3dx^2 = b^2ydy^2 - 2abdy^2\sqrt{ay} + a^3dy^2$$

$$dx\sqrt{(a^2y - b^2y + 2ab\sqrt{ay} - a^3)} = dy(b\sqrt{y} - a\sqrt{a})$$

$$dx = \frac{dy\,(b\sqrt{y} - a\sqrt{a})}{\sqrt{(a^2y - b^2y + 2ab\sqrt{ay} - a^3)}}$$

Fiat $b = 0$, erit

$$dx = -\frac{ady\sqrt{a}}{\sqrt{(a^2y - a^3)}} = -\frac{ady}{\sqrt{(ay - a^2)}}$$

$$x = 2\sqrt{(ay - a^2)}$$

$$x^2 = 4ay - 4a^2$$

Est igitur in hoc casu curva, per quam mobile descendit parabola, cujus parameter $= 4a$. Quando vero $b = 0$, perinde est ac si mobile in vacuo libere descendit. Quamobrem consensus hypothesium præsentium cum curva descensus *Galilæana* patet (§. 482.).

SCHOLION.

674. *Monuit jam* Varignonius (d) *eandem solutionem ad alia problemata similia extendi posse: quod quomodo fiat sequente problemate ostendere lubet.*

PROBLEMA 119.

Tab. XVII Fig. 168. 675. *Invenire curvam, quæ a pondere in ea descendente premitur in ratione dignitatum altitudinum* PM.

RESOLUTIO.

Si omnia sint ut in antecedentibus, erit *per hypothes.*

$$\frac{2ayddx + adxdy}{dydv} = \frac{y^n}{a^{n-1}} \quad (\text{§. } 672.)$$

$$2yddx + dxdy = y^n a^{-n} dvdy$$

$$\frac{2yddx + dxdy}{2\sqrt{y}} = \tfrac{1}{2} y^{n-1:2} a^{-n} dvdy$$

$$dx\sqrt{y} = \frac{y^{n+1:2}dv}{(2n+1)a^n} = \frac{y^n dv\sqrt{y}}{(2n+1)a^n}$$

$$(2n+1)a^n dx = y^n dv$$

$$(2n+1)^2a^{2n}dx^2 = y^{2n}dv^2 = y^{2n}dx^2 + y^{2n}dy^2$$

$$(2n+1)^2a^{2n}dx^2 - y^{2n}dx^2 = y^{2n}dy^2$$

$$dx\sqrt{(a^{2n}(2n+1)^2 - y^{2n})} = y^n dy$$

$$dx = \frac{y^n dy}{\sqrt{(a^{2n}(2n+1)^2 - y^{2n})}}$$

Quodsi jam fuerit $n = 1$, adeoque curva prematur in ratione altitudinum, per quas mobile descendit, consequenter in ratione duplicata celeritatum (§. 68.); erit

dx

(c) in Comment. Acad. Reg. Scient. A. 1710. p. 196.

Digitized by Google

$$dx = \frac{ydy}{\sqrt{(9a^2 - y^2)}}$$

$$x = -\sqrt{(9a^2 - y^2)}$$

Fiat $y = 0$, relinquetur $\sqrt{9a} = 3a$, consequenter (§. 107. *Anal. infin.*).

$$x = 3a - \sqrt{(9a^2 - y^2)}$$

$$3a - x = \sqrt{(9a^2 - y^2)}$$

$$9a^2 - 6ax + x^2 = 9a^2 - y^2$$

$$y^2 = 6ax - x^2$$

Est ergo curva quæsita circulus, cujus radius est $3a$.

Sit $n = 2$, hoc est, prematur curva in ratione duplicata altitudinum descensus, seu quadruplicata celeritatum (§. 86.); erit

$$dx = \frac{y^2 dy}{\sqrt{(25a^4 - y^4)}}$$

Quæ est æquatio ad curvam elasticam *Bernoullianam* (e).

Sit $n = \frac{1}{2}$, hoc est, prematur curva in ratione subduplicata altitudinum, seu in ratione celeritatum (§. *cit.*); erit

$$dx = \frac{y^{1:2} dy}{\sqrt{(4a - y)}}$$

$$dx^2 = \frac{ydy^2}{4a - y}$$

$$dx^2 + dy^2 = dv^2 = \frac{ydy^2}{4a - y} + dy^2$$

$$= \frac{ydy^2 + 4ady^2 - ydy^2}{4a - y}$$

$$= \frac{4ady^2}{4a - y}$$

$$dv = \frac{2dy\sqrt{a}}{\sqrt{(4a - y)}} = \frac{2ady}{\sqrt{(4a^2 - ay)}}$$

$$v = -4\sqrt{(4a^2 - ay)}$$

Fiat $y = 0$, erit residuum $= -8a$, adeoque

$$v = 8a - 4\sqrt{(4a^2 - ay)}$$

Quodsi diameter circuli HB $=$ Tab. XVII Fig. 166.
$4a$, HI $= y$; erit IB $= 4a - y$.
Quare $IB^2 = 16a^2 - 8ay + y^2$
$IN^2 = 4ay - y^2$ (§. 377. *Anal. fin.*)

$$BN^2 = 16a^2 - 4ay$$

$$BN = 2\sqrt{(4a^2 - ay)}$$

$$2BN = 4\sqrt{(4a^2 - ay)}$$

$=$ arcui Cycloidis BM (§. 168. *Anal. infin.*).

$$2BN = 4\sqrt{(4a^2 - ay)}$$
$$BMA = 8a$$

$$8a - 4\sqrt{(4a^2 - ay)} = \text{arc. AM.}$$

Atque adeo patet; curvam, quæ a mobili descendente premitur in ra-

(e) in Actis Erudit. A. 1694. p. 272. & A. 1695. p. 538.

Digitized by Google

ratione celeritatum, seu altitudinum subduplicata, esse cycloidem ordinariam.

COROLLARIUM.

676. Quodsi in Cycloide AP $= x$, PM $= y$ & diameter circuli genitoris $= 4a$; æquatio ad eandem est $dx = \frac{dy\sqrt{y}}{\sqrt{(4a-y)}}$. Quare si diameter circuli genitoris fuerit $= a$, reliqua maneant ut ante; æquatio ad cycloidem est $dx = \frac{dy\sqrt{y}}{\sqrt{(a-y)}} = \frac{ydy}{\sqrt{(ay-y^2)}}$, consequenter area cycloidis APM $\int \frac{y^2dy}{\sqrt{(ay-y^2)}}$.

CAPUT XIV.

DE RESISTENTIA MEDII.

DEFINITIO 69.

677. Per *Resistentiam medii* intelligitur resistentia fluidi, per quod mobile fertur.

COROLLARIUM.

678. Quoniam mobile fluidum, quod motui ejus resistit, loco pellere tenetur, atque adeo quandam motus partem amittit; celeritas ejus, massa quippe manente eadem, minuitur (§ 22.).

PROBLEMA 120.

Tab. 679. *Data celeritate mobilis in me-*
XVII *dio resistente motu æquabili lati, in-*
Fig. *venire celeritatem dato tempore amis-*
169. *sam spatium confectum & curvam resistentiæ, in qua semiordinatæ sunt ut celeritates amissæ.*

RESOLUTIO.

Sit AB celeritas, qua mobile initio fertur $= a$, ANG curva definiens celeritates totales in temporibus AP $= x$ amissas, PN celeritas amissa $= r$; erit NM celeritas residua, quæ dicatur v. Sit jam pm alteri PM infinite propinqua; erit NK differentia positiva semiordinatarum PN & pn, seu celeritatum extinctarum $= dr$, eademque differentia negativa semiordinatarum NM & nm, seu celeritatum residuarum $= - dv$. Unde resultat

I. $dr = - dv$.

Sit porro curva ESI, cujus or- Tab.
dinatæ sunt ut NK, seu legem re- XVII
sistentiæ exponunt. Quodsi ergo Fig.
NK 170.

NK dividas per PS, quotus erit quantitas constans, perinde enim fere est, si eandem quantitatem dividas per se ipsam. Sit PS $= z$. Quoniam NK $= -dv$ *per demonstrata*; erit $\frac{NK}{PS} = -\frac{dv}{z}$.

Jam cum $Pp = dx$, quia AP perinde ac in curva præcedente tempus exponit, sit constans; erit per legem homogeneorum

$$-\frac{dv}{z} = \frac{dx}{a}$$

$$\text{II. } -adv = zdx$$

Sit denique spatium a mobili tempusculo dx percursum $= ds$. Quoniam idem est vdx (§. 34.); erit

$$ds = vdx$$

adeoque $$\text{III. } s = \int vdx$$

SCHOLION.

680. *Ex formulis hisce generalibus, quas dedit* Varignonius (f) *deducuntur, quæ de resistentia medii in hypothesibus specialibus a* Wallisio, Newtono, Hugenio *atque* Leibnitio *inventa sunt: quemadmodum ex sequentibus patebit.*

THEOREMA 142.

Tab. XVII. Fig. 169. 681. *Si mobile motu æquabili fertur per medium, in quo eidem resistitur in ratione celeritatum, curva resistentiæ totalis* ANG *est Logarithmica; cujus asymptotus tempus, semiordinatæ ad ipsum relatæ celeritates residuas repræsentant.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam mobili resistitur in ratione celeritatum *per hypothes.* seu celeritates in instanti amissæ sunt ut celeritates residuæ; si omnia sint ut in problemate præcedente (§. 679.); erit $z = v$. Est vero $-adv = zdx$ vi *num. II.* (§. *cit.*). Ergo $-adv = vdx$ consequenter $a = -\frac{vdx}{dv}$. Est vero $-\frac{vdx}{dv}$ subtangens curvæ, cujus abscissæ sunt x, semiordinatæ decrescentes v (§. 20. *Anal. infin.*). Ergo subtangens curvæ resistentiæ totalis ANG constans est & curva Logarithmica, cujus asymptotus BE (§. 54. *Anal. infin.*). Repræsentat autem BE tempus & semiordinatæ ad ipsum relatæ exprimunt celeritates residuas a resistentia medii. *Q. e. d.*

SCHOLION.

682. *Si quis dubitet hanc esse Logarithmicæ proprietatem propriam, quod subtangens sit constans; haud difficulter idem* demon-

(f) in Comment. Acad. Reg. Scient. A. 1707. p. m. 503.

Digitized by Google

demonstratur. Sint enim z *&* y *duæ semiordinatæ*, v *&* x *ipsis respondentes abscissæ: erunt subtangentes* $\frac{ydx}{dy}$ *&* $\frac{zdv}{dz}$, *adeoque* $ydx : dy = a$ *&* $zdv : dz = a$ per hypothesin *consequenter* $ydx : dy = zdv : dz$ (§. 87. Arithm.) *Quoniam differentiale abscissæ sumitur constans; erit* $dx = dv$, *consequenter* $y : dy = z : dz$ (§. 183. Arithm.), *adeoque* $y + dy : y = z + dz : z$ (§. 190. Arithm.). *Habemus adeo semiordinatas in proportione geometrica. Jam ipsis respondentes abscissæ* $x + dx$ *&* x *atque* $v + dv$ *&* v *ob* $dx = dv$ *sunt æquidifferentes* (§. 322 Arithm.). *Abscissis adeo æquidifferentibus respondent semiordinatæ in geometrica progressione, consequenter curva constantis subtangentis est Logarithmica* (§. 552. Anal. fin.). *Ceterum* ANG *dicitur* curva resistentiæ totalis *ad differentiam* curvæ resistentiæ instantaneæ, *in qua semiordinatæ sunt ut celeritates in instanti amissæ.*

THEOREMA 143.

683. *Si mobile motu æquabili per medium fertur, in quo eidem resistitur in ratione celeritatum & tempora sumuntur æqualia; erunt celeritates in principiis singulorum temporum in progressione geometrica & partes singulis temporibus amissæ erunt iisdem proportionales seu, ut totæ; vel etiam ut celeritates in fine illorum temporum.*

DEMONSTRATIO.

Si enim mobili a medio, per quod motu æquabili fertur, resistitur in ratione celeritatum; curva resistentiæ ANG Logarithmica est, cujus asymptotus BE tempus repræsentat, abscissæ vero NM celeritates residuas exhibent (§. 681.). Quodsi ergo tempora sumuntur æqualia, celeritates in principiis temporum sunt in geometrica progressione (§. 552. *Anal. fin.*). *Quod erat unum.* Tab. XVII. Fig. 169.

Quodsi fiat $BM = MR$, tempora, quibus amittuntur celeritates AO & NV æqualia sunt. Est vero $AB : NM = NM : TR$ *per demonstr.* Ergo $AB - NM : AB = NM - TR : NM$ (§. 193. *Arithm.*), hoc est, $AO : AB = NV : NM$, consequenter $AO : NV = AB : NM$ (§. 173. *Arithm.*), seu celeritates temporibus æqualibus amissæ sunt ut totæ in principiis illorum temporum. *Quod erat secundum.*

Quoniam $AB : NM = NM : TR$ *per demonstr.* erit etiam $AB - NM : NM = NM - TR : TR$ (§. 193. *Arithm.*). hoc est, $AO : NM = NV : TR$, consequenter $AO : NV = NM : TR$ (§. 173. *Arithm.*), seu celeritates temporibus æqualibus BM & MR amissæ sunt ut celeri-

tates

Digitized by Google

tates NM & TR in fine illorum temporum. *Quod erat tertium.*

Ultimum quoque ita ostenditur. AO : NV = AB : NM *per num. 2.* & AB : NM = NM : TR *per num. 1.* Ergo AO : NV = NM : TR (§. *167. Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 144.

684. *Si mobile motu æquabili per medium fertur, in quo eidem resistitur in ratione celeritatum residuarum; spatia singulis temporibus descripta sunt ut celeritates amissæ, &, si tempora sumantur æqualia, ut celeritates totæ in principio. vel in fine illorum temporum.*

DEMONSTRATIO.

Si omnia sint ut in problemate generali (§ 679); erit $-adv = zdx$ vi *num. II.* & $vdx = ds$ vi *num. III.* Est vero $z = v$ *per hypoth.* Ergo $-adv = vdx$ (§. *15. Arithm.*), consequenter $ds = -adv$ (§. *87. Arithm.*). Est igitur $s = a^2 - av$ (§. *95. Anal. infin.*), seu ob constantem a est s ut $a - v$ (§. *181. Arithm.*). Sed $a - v$ est celeritas a mobili tempore x amissa. Quamobrem spatia sunt ut celeritates amissæ. *Quod erat unum.*

Quodsi tempora sumantur æqualia, celeritates amissæ sunt ut totæ in principio, vel fine illorum temporum (§. 683.). Sunt vero etiam ut celeritates amissæ istis temporibus ita spatia movendo iisdem confecta *per demonstrata.* Ergo eadem spatia sunt ut celeritates in principio, vel etiam in fine illorum temporum (§. *167. Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 145.

685. *Si mobili motu æquabili lato in ratione celeritatum resistitur, & tempora sumuntur æqualia, seu in progressione arithmetica, erunt celeritates in instanti, seu tempusculo infinite parvo amissæ ut celeritates in fine illorum temporum.*

DEMONSTRATIO.

Curva enim resistentiæ Logarithmica est, cujus asymptotus tempora, semiordinatæ ad eandem relatæ celeritates in fine illorum temporum repræsentant (§. 681.). Quare si tempora sint x & t, semiordinatæ ipsis respondentes y & z; erit $\frac{ydx}{dy} = \frac{zdt}{dz}$ (§. *54. Anal. infin.*), consequenter cum tempora sumantur in progressione arithmetica *per hypoth.* sitque adeo $dx = dt$ (§. *333. Arithm.*), $y : dy = z : dx$. Est itaque $y : z = dy : dz$ (§. *173. Arithm.*), hoc est, celeri-

leritates in fine temporum istorum *y* & *z* sunt ut celeritates in instanti inde amissa *dy* & *dz*. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

Tab. XVII Fig. 170. 686. Quoniam in curva resistentiæ instantaneæ ESI abscissa EP est ut tempus, semiordinata PS ut celeritas in instanti amissa (§ 682.); PS vero est celeritas in fine temporis EP mobili residua (§ 685.) & in curva resistentiæ totalis abscissis tanquam temporibus respondent semiordinatæ tanquam celeritates illis amissæ (§ 681.); curva resistentiæ totalis eadem, quæ curva resistentiæ instantaneæ, si mobili motu æquabili lato resistitur in ratione velocitatum.

THEOREMA 146.

687. *Si mobili motu æquabili lato resistitur in medio, per quod fertur, in ratione celeritatum; spatia adhuc percurrenda sunt celeritatibus residuis proportionalia.*

DEMONSTRATIO.

Est enim ut spatium integrum percurrendum ad spatium aliud percurrendum, ita celeritas, quam initio motus habet mobile ad celeritatem residuam (§. 684.). Quamobrem spatium quodlibet adhuc percurrendum est ad integrum ut celeritas residua, qua percurrendum, ad celeritatem initialem, seu quam in principio habet mobile (§. 193. *Arithm.*): quod cum de omni spatio percurrendo verum sit; erit spatium percurrendum unum ad aliud quodcunque ut celeritas residua, qua illud percurrendum, ad celeritatem residuam, qua hoc percurrendum (§. 195. *Arithm.*), hoc est, spatia adhuc percurrenda sunt celeritatibus residuis, quibus percurrenda, proportionalia (§. 155. *Arithmet.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

688. Si ergo celeritas initialis AB exponatur per spatium integrum percurrendum, cum spatia percursa sint AO, AQ &c. (§. 684), erunt percurrenda OB, QB &c. seu applicatæ NM & TR ad asymptotum BE Logisticæ ANG. Tab. XVII Fig. 169.

THEOREMA 147.

689. *Si mobili motu æquabili lato a medio resistitur in ratione celeritatum & spatia adhuc percurrenda sint ut numeri, erunt tempora insumta percursis ut illorum Logarithmi.*

DEMONSTRATIO.

Spatia enim adhuc percurrenda sunt ut semiordinatæ Logisticæ NM, TR &c. applicata ad tempora insumta BM, BR spatiis jam percussis AO, AQ (§. 688.). Enimvero si in Logistica NM, TR sumuntur ut numeri, abscissæ BM, BR sunt ut eorum Logarithmi

(§ 533.

553. Anal.). Ergo si spatia percurrenda sunt ut numeri, tempora sunt eorum Logarithmi. *Q. e. d.*

THEOREMA 148.

Tab. XVII Fig. 169. 690. *Si mobile æquabili motu incedit in medio, quod in ratione velocitatum eidem resistit, celeritas nonnisi tempore infinito extinguitur & spatium percurrendum integrum* AB *nunquam absolvit, etsi semper accedat ad limitem.*

DEMONSTRATIO.

Celeritates enim continuo decrescentes sunt ut semiordinatæ Logarithmicæ ad asymptotum BE applicatæ & asymptotus tempus exhibet (§. 681). Quare cum AB celeritatem integram repræsentet, quam mobile in principio motus habet; ea prorsus extingui nequit, nisi punctis G & E coincidentibus, seu Logistica ANG cum asymptoto BE concurrente: qnod cum fieri non possit nisi infinito intervallo (§. *556. Anal. fin.*); celeritas quoque nullo tempore finito extingui potest. *Quod erat primum.*

Jam cum celeritate, quam in principio motus habet mobile, non prorsus extincta terminum B attingere non possit, nullo quoque tempore finito eundem attingere valet, adeoque spatium percurrendum integrum AB nunquam absolvit. *Quod erat secundum.*

Quia tamen motus indesinenter continuatur, adeoque spatium celeritatibus amissis descriptum continuo crescit; mobile ad terminum suum B continuo propius accedit. *Quod erat tertium.*

SCHOLION.

691. *Nemo objiciat propositionem præsentem experientiæ repugnare: neque enim hypothesis resistentiæ in ratione velocitatum naturæ rerum conformis, quemadmodum suspicatus fuit* Wallisius. *Et si vel maxime hypothesis naturæ prope ad eam accederet, ex naturæ consuetudine motus in praxi tandem insensibilis fieri deberet, quemadmodum a* Leibnitio (g) *jam annotatum est.*

(g) in Actis Erudit. A. 1689. p. 41.

THEOREMA 149.

692. *Si intra asymptotos rectangulas* AB *&* BK *describatur hyperbola* FLS *& motus initio celeritas exponatur per rectam* AB, *elapso aliquo tempore vero per rectam* OB; *tempus per aream* AFLO *& spatium eo tempore descriptum per rectam* AO *exprimi potest.* Tab. XVII Fig. 169.

DEMONSTRATIO.

Si enim BO & BQ fuerint celerita-

ritates in fine temporum BM & BR restantes, dicaturque $BQ = y$, $BO = z$; erit $y:z = dy:dz$ (§. 685.), consequenter $y:dy = z:dz$ (§. 173. *Arithm.*). Sunt vero $\frac{y}{dy}$ & $\frac{z}{dz}$ elementa spatii hyperbolici asymptotici (§. 118. *Analys. infin.*). Quamobrem elementa ista æqualia sunt, si eorum altitudines, quæ sunt abscissarum in asymptoto BA sumtarum differentialia, fuerint ut celeritates in instanti amissæ. Quodsi ergo ab initio motus usque ad plenariam extinctionem sumantur continuo AO, AQ ut celeritates extinctæ; Spatium hyperbolicum asymptoticum resolvitur in elementa inter se æqualia. Atque adeo area FAOL successiva elementorum æqualium additione gignitur, quemadmodum abscissa AP continua accessione elementorum æqualium resultat. Enimvero abscissa AP exponitur tempus, quo celeritas PN sive AO amittitur *per hypoth.* Ergo etiam spatium hyperbolicum AFLO tempus designare debet, quo celeritas AO amittitur. *Quod erat unum.*

Jam rectæ AO & AQ sunt ut celeritates temporibus BM & BR amissæ *per hypoth.* Sunt vero spatia temporibus BM & BR movendo confecta ut celeritates iisdem temporibus extinctæ (§. 684.). Ergo spatia temporibus BM & BR seu, quod perinde est *per demonstrata*, temporibus AFLO & AFHQ confecta sunt ut rectæ AO & AQ. *Quod erat alterum.*

THEOREMA 150.

693. *Si motui æquabili in medio resistitur in ratione celeritatum, decrementa celeritatum sunt incrementis spatiorum proportionalia.*

DEMONSTRATIO.

Spatia enim & celeritates amissæ eodem tempore per eandem rectam exponuntur (§. 692.). Ergo etiam incrementa illorum, & harum decrementa eodem tempore per eandem rectam exponi debent. Quoniam itaque tempore eodem incrementa spatiorum & decrementa celeritatum iisdem rectis proportionalia sunt; spatiorum quoque incrementa celeritatum decrementis proportionalia sunt (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

694. Wallisius, *qui primus de resistentia aëris in motu corporum determinanda cogitavit* (h) *& resistentiam in ratione cele-*

celeritatum fieri suppoſuit; rationem celeritatis a, *quæ initio motus eſt, ad reſiduam uno momento ſeu tempuſculo infinite parvo elapſo ſumit ut* m *ad* 1. *Celeritas igitur reſidua eſt* $\frac{a}{m}$. *Jam cum celeritates reſiduæ in progreſſione geometrica decreſcant* (§. 683.), *per hanc ſeriem exhibentur celeritates ab initio motus usque ad ejus extinctionem* a, $\frac{a}{m}$, $\frac{a}{m^2}$, $\frac{a}{m^3}$, $\frac{a}{m^4}$, &c. *in infinitum, donec ſcilicet quod reſtat eſt reſpectu ipſius* a *infinite parvum, adeoque nullum. Summa igitur celeritatum* $a + \frac{a}{m} + \frac{a}{m^2} + \frac{a}{m^3} + \frac{a}{m^4} + \frac{a}{m^5}$ &c. *in infinitum ob terminum ultimum contemptibilis parvitatis* $= \frac{a}{m-1} + a$ (§. 120. Analyſ. finit.) $= \frac{a + ma - a}{m-1} = \frac{ma}{m-1}$. *Jam vero ſingulis celeritatibus tempuſculis æqualibus deſcribuntur ſingula ſpatiola, quæ cum ſint ut celeritates, ſpatium integrum celeritate prorſus extincta erit* $\frac{ma}{m-1}$, *ſeu, ſi* a = 1, $\frac{m}{m-1}$, *quemadmodum idem determinat* Walliſius.

SCHOLION 2.

695. Newtonus (i) *cum deprehenderet hypotheſin reſiſtentiæ in ratione celeritatis magis mathematicam eſſe, quam naturalem & naturæ magis conformem cenſens alteram de reſiſtentia in duplicata ratione celeritatum, motus corporum ex hac lege reſiſtentiæ oriundos conſiderare cœpit. Noſtrum igitur eſt ut eosdem hic more noſtro explicemus. Ex ſuperioribus enim formulis generalibus deducuntur, quæ de eodem notanda veniunt, prouti ex ſequentibus patet.*

THEOREMA 151.

696. *Si corpus motu æquabili per medium ſimilare fertur ipſique reſiſtitur in velocitatis ratione duplicata, curva reſiſtentiæ totalis eſt Hyperbola æquilatera* ANG *intra aſymptotos* HK & KF, *puncto* B, *in quo celeritas initialis* AB *applicatur, a centro* K *intervallo rectæ* AB, *quæ celeritatem initialem exponit, diſtante.* Tab. XVII Fig. 171.

DEMONSTRATIO.

Si celeritas initialis AB = a, celeritas amiſſa = v, tempus quo amittitur = x, decrementum celeritatis inſtantaneum ut z; erit $-adv = zdx$ (*vi num II* §. 679.). Eſt vero decrementum celeritatis inſtantaneum in ratione duplicata celeritatis extinctæ *per hypoth.* adeoque

(h) in Algebra c. 101. f. 438. Vol. 2. Oper.
(i) in Princ. lib. 2. prop. 5. & ſeqq. p. m. 239.

Digitized by Google

eoque servata lege homogeneorum $z = \frac{v^3}{a}$. Quamobrem

$$\frac{-adv = \frac{v^2 dx}{a}}{-\frac{dv}{v^2} = \frac{dx}{a^2}}$$

hoc est, $\frac{-v^{-2}dv = dx : a^2}{v^{-1} = x : a^2}$

Sive, si quantitas constans in integratione adjiciatur, $\frac{1}{v} + b = \frac{x}{a^2}$.

Fiat $x = 0$: erit $v = a$, quia ibidem applicata recta AB exprimit celeritatem initialem, adeoque

$$\frac{\frac{1}{a} + b = 0}{b = -\frac{1}{a}}$$

Ergo $\frac{1}{v} - \frac{1}{a} = \frac{x}{a^2}$

$$\frac{a^2 - av = vx}{a^2 = vx + av}$$

Curva igitur resistentiæ totalis ANG est hyperbola æquilatera intra asymptotos HK & KF, latere potentiæ hyperbolæ existente linea recta, quæ celeritatem exponit, & applicata AB, quæ eandem exponit, sui intervallo a centro K remota (§. 490. *Anal. fin.*).

COROLLARIUM.

697. Quoniam tempus repræsentatur per asymptotum BF, celeritates residuæ per semiordinatas NM, hyperbola vero cum asymptoto ANG non concurrit (§. 481. *Anal. fin.*); celeritas, qua fertur mobile, integra nonnisi infinito tempore per resistentiam medii extinguitur, seu mobile nunquam motu suo prorsus privatur.

THEOREMA 152.

698. *Si mobili motu æquabili lato resistitur a medio in ratione duplicata celeritatis, celeritas residua erit ad extinctam in ea ratione, quam habet latus potentiæ hyperbolæ* KB *ad partem asymptoti* BM *exponentem tempus, quo celeritas extincta fuit.* Tab. XVII. Fig. 171.

DEMONSTRATIO.

Si enim potentiæ hyperbolæ latus KB = BA = a, recta tempus exponens BM = x, celeritas residua MN = v, adeoque extincta PN = $a - v$; erit $a^2 - av = vx$ (§. 696.). Est igitur $a : x = v : a - v$ (§. 299 *Arithm.*), hoc est, AB : BM = MN : NP, seu celeritas residua est ad extinctam ut latus potentiæ hyperbolæ ad partem asymptoti tempus exponentem, quo celeritas extincta fuit. *Q. e. d.*

THEO-

Digitized by Google

THEOREMA 153.

699. *Si mobili motu æquabili lato resistitur a medio in ratione duplicata celeritatis, spatium dato tempore est ut logarithmus rationis, quam habet celeritas initialis ad residuam tempore isto elapso.*

DEMONSTRATIO.

Si enim spatium sit s, reliqua sint ut ante; erit $vdx = ds$ (§. 679.). Est vero in hypothesi propositionis $-\frac{a^2dv}{v^2} = dx$ (§. 696.), adeoque $vdx = -a^2dv : v$ consequenter $ds = -a^2dv : v$. Sed $-adv : v$ est differentiale logarithmi fractionis $a : v$ (§. 243. *Analys. infin.*). Quamobrem $s = al(a : v)$, hoc est, ob constantem a, spatium dato percursum tempore est ut $l\ (a : v)$, seu ut logarithmus celeritatis initialis a divisæ per residuam v. *Q. e. d.*

THEOREMA 154.

Tab. XVII Fig. 171. 700. *Si mobili æquabili motu per medium resistens lato resistitur in ratione duplicata celeritatum, tempore, quod per partem asymptoti* BM *hyperbolæ* ANG *exponitur, confectum spatium repræsentatur per spatium hyperbolicum asymptoticum* ABMN *inter celeritatem initialem* AB *&* *residuam* NM *interceptum.*

DEMONSTRATIO.

Si enim tempus $BM = x$ & celeritas restans $MN = v$; erit vdx elementum areæ ABMN (§. 97. *Anal. infin.*). Sed si spatium tempore BM descriptum $= s$; erit $ds = vdx$ (§. 679.). Ergo $s = \int vdx =$ ABMN. Spatium igitur hyperbolicum tempori, quod per BM exprimitur, respondens ABMN exprimit spatium a mobili tempore isto confectum. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

701. Quoniam spatia motu æquabili dato tempore confecta sunt in ratione composita temporum ac celeritatum (§. 34.); mobile celeritate initiali AB tempore BM percurreret spatium, quod est ut BM. AB (§. 159. *Arithm.*), consequenter spatium istud exponit rectangulum ABMP (§. 376. *Geom.*). Quare cum motu resistentiis in duplicata celeritatum ratione impedito tempore BM conficiatur spatium per spatium hyperbolicum asymptoticum ABMN exprimendum (§. 700.); erit spatium celeritate in ratione duplicata celeritatis continuo impedita descriptum ad spatium, quod eodem tempore in medio non resistente describeret mobile, ut spatium hyperbolicum asymptoticum ABMN ad rectangulum ABMP.

THEOREMA 155.

702. *Si motus æquabilis impeditur resistentiis, quæ sunt in ratione duplicata celeritatum; decrementa celeritatum instantanea sunt in ratione composita*

posita ex celeritate residua & incremento momentaneo spatii percursi.

DEMONSTRATIO.

Constat ex demonstratione theorematis 151 (§. 696.), esse $-adv = vdx : a$. Est igitur $-dv$ ut v^2dx propter constantem a^2 (§. 181. *Arithm.*). Enimvero $v^2dv = v.vdx$ & v designat celeritatem residuam, $vdx = ds$ (§. 679.) incrementum momentaneum spatii in medio resistente percursum. Ergo in hypothesi theorematis decrementa momentanea velocitatis $= -dv$ sunt in ratione composita celeritatum residuarum & incrementorum momentaneorum spatii percursi. *Q. e. d.*

THEOREMA 156.

Tab. XVII. Fig. 172. 703. *Si recta* AB *celeritatem initialem mobilis exponit, cui in medio, per quod æquabiliter movetur, in ratione duplicata celeritatum resistitur, & erectis perpendicularibus* AC *&* BF *describantur duæ Logarithmicæ* ANG *&* BOR, *quorum communis est subtangens* AB, *altera vero* BOR *ad asymptotum* AC, *altera* ANG *ad asymptotum* BF *relata; ducta* PO *ipsi* AB *parallela, exponet* MO *tempus,* PN *celeritatem isto tempore amissam &* NM *celeritatem in fine illius temporis adhuc residuam.*

DEMONSTRATIO.

Si enim subtangens communis $AB = a$, tempus $= x$, celeritas in fine ejusdem residua $= v$; erit

$$a^2 = vx + av \text{ (§. 696.)}$$
$$0 = vdx + xdv + adv$$
$$-adv - xdv = vdx$$
$$-\frac{dv}{v} = \frac{dx}{a+x}$$

Sunt adeo $-\frac{dv}{v}$ & $\frac{dx}{a+x}$ duo Logarithmi æquales (§. 243. *Anal. infin.*). Quare si sit $BM = y$ & & $NM = v$; erit $\frac{dy}{a} = -\frac{dv}{v}$, adeoque ANG Logarithmica ad asymptotum BF relata, cujus subtangens $a = AB$. Et quia etiam $\frac{dy}{a} = \frac{dx}{a+x}$; (§. 87. *Arithm.*) erit itidem BOR Logarithmica ad asymptotum AC relata, cujus itidem subtangens AB (§. 54. *Analys. infin.*). Quoniam vero AB exponit celeritatem initialem, tempus $= x$, celeritas residua $= v$ *vi denominationis*; recta $MO = x$ tempus, $NM = v$ celeritatem in fine ejus residuam & PN celeritatem tempore MO amissam exponit. *Q. e. d.*

THEO-

Digitized by Google

THEOREMA 157.

Tab. XVII. Fig. 171. 704. *Si tempus* BM *resolvitur in tempuscula, quæ sunt in progressione geometrica, spatiola istis tempusculis descripta æqualia sunt & velocitates residuæ sunt in eadem ratione decrescente, in qua tempora crescunt quantitate quadam constante aucta.*

DEMONSTRATIO.

Si enim tempus exponitur per partem BM asymptoti KF Hyperbolæ æquilateræ ANG; spatium hyperbolicum ABMN exponit spatium a mobili tempore BM in medio non resistente descriptum (§.700.). Enimvero ostendimus in superioribus (§.692.), si BM resolvitur in particulas, quæ sunt in progressione geometrica, aream ABMN resolvi in spatiola seu elementa inter se æqualia. Spatiola igitur tempusculis in ratione geometrica progredientibus descripta sunt inter se æqualia. *Quod erat unum.*

Tab. XVII. Fig. 172. Si AB exprimat celeritatem initialem & duæ fuerint Logisticæ ANG & BOR ad asymptotos BF & AC relatæ; MO tempus denotat, & MN celeritatem in fine istius residuam (§. 703.). Sumantur jam in asymptotis abscissæ BM vel AP in progressione arithmetica; erunt NM & PO in progressione geometrica & quidem semiordinatæ NM in decrescente, semiordinatæ vero PO in crescente (§. 552. *Anal. fin.*). Patet igitur temporibus quantitate constante AB(=PM) auctis in ratione geometrica crescentibus celeritates residuas NM in ratione geometrica decrescere. *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM 1.

705. Quoniam spatia dato tempore descripta sunt ut logarithmi negativi celeritatum in fine illorum temporum residuarum (§. 699.); si celeritates residuæ sumantur ut numeri, spatia sunt ut eorum logarithmi & tempus etiam sunt ut numeri (§ 704.).

COROLLARIUM 2.

706. Quare cum AP vel BM sit ut logarithmus MN vel PO (§. 558. *Anal. fin.*); erit BM vel AP ut spatium tempore MO celeritate initiali AB descriptum.

SCHOLION.

707. *Eadem methodo ad alias hypotheses resistentiæ applicari poterant formulæ generales. Sed cum istiusmodi hypotheses magis geometricæ, quam naturales sint, plura in præsente non addimus ad resistentias in motu gravium explicandas progressuri in duabus hypothesibus anterioribus. Supponimus autem motum gravium æquabiliter acceleratum in hypothesi* Galilæana, *utpote experimentis in iis a centro Telluris distan-*

distantiis consentiente, in quibus ea capere licet.

PROBLEMA 121.

Tab. XIIX Fig. 173. 708. *Invenire curvam resistentiæ, celeritatem residuam & spatium dato tempore descriptum in motu gravium seu æquabiliter accelerato.*

RESOLUTIO.

Exponat recta AC tempus. Fiat AP = PM; exponet PM celeritatem tempore AP a mobili acquisitam (§ 68.) & AMF erit linea recta ac APM triangulum æquicrurum. Sit PN celeritas extincta tempore AP per resistentiam & MN celeritas in fine illius temporis residua; erit ANG curva resistentiæ totalis. Ducatur pm ipsi PM infinite propinqua & demissa perpendiculari NR; erit nR particula celeritatis tempusculo Pp extincta. Fiat PS ut nR; erit ESI curva resistentiæ instantaneæ (§. 682.). Denique fiat QP = NM; erit AQH curva celeritatum residuarum.

Sit jam AP = PM = x, NM = PQ = v, PS = z, PN = r; erit

$$v = x - r$$

$$r = x - v.$$

I. $dr = dx - dv.$

Porro ut supra (§. 679.).

$$\frac{dr}{z} = \frac{dx}{a}$$

Unde $$\frac{dx - dv}{z} = \frac{dx}{a}$$

II. $adx - adv = zdx$

quæ est æquatio ad curvam resistentiæ instantaneæ ESI.

Tandem si s spatium tempore x confectum denotet, erit ut supra (§. 679.).

III. $vdx = ds.$

SCHOLION.

709. *Ex formulis hisce generalibus perinde ac supra deducuntur quæ de motu gravium in medio resistente a* Newtono, Hugenio *&* Leibnitio *inventa sunt, quemadmodum ex sequentibus intelligitur.*

THEOREMA 158.

710. *Si gravi descendenti resistitur in ratione celeritatum, curva celeritatum residuarum* AQH *est Logarithmica, cujus asymptotus* BF *tempus exponit, semiordinatæ vero* OQ *ad asymptotum relatæ sunt differentiæ inter celeritates residuas* PQ *& subtangentem* AB. Tab. XIIX. Fig. 174.

DEMONSTRATIO.

Si AP = x, PQ = v, AB = a; erit $adx - adv = zdx$ (§. 708.).

Est

Est vero $z = v$ *per hypoth.*

Ergo $adx - adv = vdx$

$$adx - vdx = adv$$

$$dx = \frac{adv}{a-v}$$

Quæ est æquatio ad curvam AQH.

Fiat $a - v = y$

erit $a - y = v$

$$-dy = dv$$

$$-\frac{ady}{y} = \frac{adv}{a-v} = dv$$

Quæ est æquatio ad Logarithmicam, cujus subtangens $= a$ (§. 54. *Anal. infin.*).

Tab. XIIX Fig. 174. Sit itaque $AB = a$, $AP = BO = x$; erit $Oo = Pp = dx$. Quoniam $PQ = v$; erit $QO = a - v = y$, adeoque $QL = -dy$. Quodsi ergo sumta AB pro subtangente describatur Logarithmica, cujus asymtotus BF; erit $dx = -\frac{ady}{y}$ æquatio ad eandem. Est igitur curva celeritatum residuarum in fine singulorum temporum AQH Logarithmica, cujus asymptotus BF, semiordinatæ vero sunt differentiæ inter lineas, quæ celeritates in fine singulorum temporum residuas exponunt, atque rectam quandam constantem AB, cui subtangens æqualis est (§. 54. *Anal. infin.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

711. Quodsi fiat $PM = AP$ & $MN = PQ$; erit PN celeritas per resistentiam amissa tempore AP, consequenter ANG curva resistentiæ totalis (§. 682.). Data igitur curva celeritatum residuarum in fine singulorum temporum, datur curva resistentiæ totalis ANG.

THEOREMA 159.

712. *Si gravi descendenti resistitur in ratione celeritatum, spatia movendo confecta sunt ut celeritates extinctæ.*

DEMONSTRATIO.

Si omnia fuerint ut in theoremate præcedente, erit $vdx = adx - adv$ (§. 708.). Est vero $vdx = ds$ (§. *cit.*). Ergo $ds = adx - adv$, consequenter $s = ax - av$. Est igitur propter constantem a spatium movendo confectum ut $x - v$ (§. 181. *Arithm.*). Quoniam $PM = x$, $MN = v$; PM vero est celeritas cadendo tempore AP acquisita & MN celeritas in fine temporis in medio resistente residua, erit $PN = x - v$ celeritas tempore AP extincta. Sunt igitur spatia moven-

Digitized by Google

movendo confecta ut celeritates extinctæ. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

713. Quoniam PM exprimens celeritatem in medio non resistente a gravi acquisitam est ut tempus AP (§. 68), PN vero denotans celeritatem extinctam ut spatium movendo confectum (§. 712.); igitur dantur lineæ temporibus insumtis proportionales, a quibus spatia movendo in medio resistente confecta si subtrahantur relinquunt rectas NM celeritati in medio resistente a gravi acquisitæ proportionales.

THEOREMA 160.

Tab. XIIX Fig. 174. 714. ***Si complementa celeritatum a gravi in medio resistente in ratione celeritatum cadendo acquisitarum ad celeritatem maximam, quam corpus cadendo acquirere vales, sumantur ut numeri, erunt tempora insumta ut eorum logarithmi.***

DEMONSTRATIO.

Si BF exponit tempus, curva AQH celeritatum residuarum est Logarithmica; cujus asymptotus BF, subtangens AB (§. 710.). Quoniam Logistica AQH cum asymptoto BF non concurrit nisi infinito intervallo (§. *553. Anal. fin.*); AB est celeritas, quam in medio resistente infinito tempore grave cadendo acquirere potest, adeoque absolute maxima. Est itaque QO celeritatis tempore AP in medio resistente acquisitæ complementum ad maximam. Quamobrem si complementa celeritatum acquisitarum ad maximam sunt ut numeri; erunt tempora insumta, quæ per AP sive BO denotantur, ut ipsorum Logarithmi (§. *550. Anal. fin.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 161.

715. *Si grave in medio cadit, quod in ratione celeritatum descensui ejus resistit; celeritatem absolute maximam nunquam acquirit.* Tab. XIIX Fig. 174.

DEMONSTRATIO.

Est enim curva celeritatum residuarum in medio resistente, seu acquisitarum, si medium in ratione celeritatum resistit, AQH Logarithmica, cujus asymptotus B F (§. 710.). Quoniam celeritates acquisitæ sunt semiordinatæ QP ad axem AK applicatæ; celeritas maxima repræsentatur per semiordinatam, quæ respondet puncto, in quo curva AQH asymptotum BF secat. Quare cum id fiat infinito intervallo (§. *553. Anal. fin.*), seu quando AK infinita evadit; tempus infinitum requiritur ut grave cadendo celeritatem absolute

Digitized by Google

lute maximam acquirat. Eam nunquam acquirit. *Q. e. d.*

THEOREMA 162.

Tab. XIIX Fig 174. 716. *Si grave descendit per medium in ratione velocitatum resistens, celeritatum temporibus in progressione arithmetica auctis cadendo acquisitarum a maxima, quam per idem cadendo acquirere potest, differentiæ in progressione geometrica decrescunt.*

DEMONSTRATIO.

Constat enim ex antecedentibus, si AQH sit Logarithmica, cujus asymptotus BF & AK eidem parallela; esse QP celeritatem tempore AP vel BO cadendo acquisitam (§. 710.) & BA celeritatem maximam, quam corpus per medium in ratione celeritatum resistens cadendo acquirere valet (§. 714.). Sunt igitur abscissæ BO, BR ut tempora, semiordinatæ ipsis respondentes OQ & VR ut celeritatum QP & VT istis temporibus acquisitarum differentiæ a maxima, seu ut earundem complementa ad maximam. Enimvero si in Logarithmica abscissæ crescunt in progressione arithmetica, semiordinatæ in geometrica decrescunt (§. *552. Analys. finit.*). Ergo si grave per medium in ratione velocitatum resistens cadit & tempora in progressione arithmetica crescunt, celeritatum temporibus istis acquisitarum differentiæ a maxima in geometrica decrescunt. *Q. e. d.*

THEOREMA 163.

717. *Si gravi per medium descendenti resistatur in ratione celeritatum & axis* AL *tempora descensus repræsentet,* ANG *sit curva resistentiæ totalis,* AQH *vero curva celeritatum acquisitarum, & circa axem* AD *ad* AK *normalem describatur parabola* AIC, *cujus parameter est ut dupla celeritas maxima, quam corpus cadendo acquirere valet; spatium in medio resistente confectum est ad spatium eodem tempore in vacuo conficiendum in ratione* PN *ad* PI, *seu ut semiordinata curvæ resistentiæ totalis ad semiordinatam parabolæ externæ ad eundem axem relatæ.* Tab. XIIX Fig. 174.

DEMONSTRATIO.

Quoniam enim spatium in medio resistente in ratione celeritatum movendo confectum est tempore AP $= x$ ut $ax - av$ (§. 712.), spatium vero eodem tempore in vacuo conficiendum ut $\frac{1}{2}x^2$ (§. 80.); erit istud ad hoc ut $ax - av$ ad $\frac{1}{2}x^2$, consequenter ut $x - v$ ad $x^2 : 2a$

(§. *181. Arithm.*). Jam cum ANG sit curva resistentiæ totalis *per hypoth.* erit PN $= x - v$ (§. 712.) & quia AQH est curva celeritatum temporibus x acquisitarum *per hypoth.* celeritas maxima, quam corpus cadendo acquirere potest, est ut recta AB $= a$ (§. 715.). Enimvero si circa axem AD parametro $2a$, quæ est ut dupla celeritas maxima a gravi acquisitu possibilis describatur parabola AIC, cum sit QI $=$ AP $= x$; erit AQ $=$ PI $= x^2 : 2a$ (§. *391. Anal. fin.*). Est igitur spatium movendo in medio resistente confectum ad spatium eodem tempore in medio non resistente conficiendum ut PN ad PI. *Q. e. d.*

THEOREMA 164.

Tab. XIIX Fig. 174. 718. *Spatium a gravi per medium in ratione velocitatum resistens descendente confectum tempore infinito infinitum est; celeritas vero tempore isto acquisita finita est.*

DEMONSTRATIO.

Iisdem enim positis, quæ in antecedentibus, spatium movendo confectum tempore AP est ut semiordinata PN. Quare cum crescente AP crescat etiam PN; ubi AP fit infinita, etiam applicata ad AP infinita evadere debet, consequenter tempore infinito percursum spatium infinitum est. *Quod erat unum.*

Jam celeritas absolute maxima, quam corpus in medio resistente cadendo acquirere potest, exponitur per subtangentem Logisticæ AQH ipsi AB æqualem, adeoque per lineam finitam, consequenter & ipsa finita est. Celeritas igitur tempore infinito acquisita finita est. *Quod erat alterum.*

THEOREMA 165.

719. *Si intra asymptotos* CB *&* BA *rectangulas describatur Hyperbola æquilatera & recta* AB *vel rectangulum* ABNE *exponat celeritatem maximam, quam corpus per medium in ratione celeritatum resistens acquirere valet; area* AILE *exponet tempus, rectangulum* AIKE *celeritatem cadendo acquisitam &* EKL *spatium tempore isto confectum.* Tab. XIIX Fig. 175.

DEMONSTRATIO.

Sit AB $= a$ seu ut celeritas maxima, quam corpus acquirere valet, AI $= v$, seu ut celeritas tempore x acquisita, & AE $= b$; erit ob constantem b, $ab : bv = a : v$ (§. *178. Arithm.*), adeoque etiam rectangulum ABNE exponet celeri-

leri-

Digitized by Google

leritatem maximam, quam corpus cadendo in medio resistente acquirere valet & AIKE exponet celeritatem dato tempore x acquisitam. *Quod erat primum.*

Quoniam medium resistit in ratione celeritatum; erit $dx = \frac{adv}{a-v}$ (§. 710.), adeoque $bdx = \frac{abdv}{a-v}$. Quoniam AB $= a$, AI $= v$; erit BI $= a - v$. Est vero in Hyperbola BA. AE = BI. IL (§. 488. *Analys. fin.*), adeoque $(a-v)$. IL $= ab$, consequenter IL $= ab:(a-v)$. Est igitur $abdv:(a-v)$ elementum areæ AILE. Quamobrem bx æquatur areæ AILE, & hinc x = AILE : AE. Ob constantem itaque AE tempus x est ut spatium hyperbolicum asymptoticum AILE (§. 178. *Arithm.*) *Quod erat secundum.*

Jam si tempus per x exponatur & celeritas eodem acquisita v per rectam AI; spatium cadendo confectum est ut $x - v$ (§. 712.). Quare si tempus exponitur per spatium hyperbolicum AILE & celeritas isto tempore acquisita per rectangulum AIKE; spatium descensus exponitur per eorum differentiam, adeoque per trilineum hyperbolicum EKL. *Quod erat tertium.*

COROLLARIUM 1.

720. Quoniam celeritas per resistentiam medii in ratione celeritatis extincta est ut spatium dato tempore cadendo confectum (§. 712.), spatium vero hoc est ut trilineum hyperbolicum EKL (§. 719.); erit etiam celeritas tempore AILE extincta ut trilineum EKL.

COROLLARIUM 2.

721. Et quia rectangulum AIKE celeritatem cadendo tempore AILE acquisitam exponit (§. 719.); celeritas acquisita est ad celeritatem extinctam ut rectangulum AIKE ad trilineum hyperbolicum EKL.

THEOREMA 166.

722. *Si recta dimidia* AB *sit sub-* Tab.
tangens & AC *asymptotus Logarith-* XIIX
micæ BOI, *ductaque* BF *ipsi* AC Fig.
parallela fiat ut semiordinata Loga- 176.
rithmicæ OP *aucta dupla subtangente* AB *ad* OK *semiordinatam, ita abscissa* AP *ad quartam proportionalem* PQ; *erit punctum* Q *in curva celeritatum residuarum* AQH, *seu abscissa* AP *tempus, semiordinata* PQ *celeritatem hoc tempore cadendo a gravi acquisitam exponet, siquidem eidem resistitur in ratione celeritatum duplicata.*

DEMONSTRATIO.

Sit AB $= a$, AP $= x$, PQ $= v$; erit

erit $adx - adv = zdx$ (§. 708). Est vero $z = v^2 : a$ *per hypoth.* observata scilicet lege homogeneorum. Ergo

$$adx - adv = \frac{v^2 dx}{a}$$

$$a^2 dx - a^2 dv = v^2 dx$$

$$a^2 dx - v^2 dx = a^2 dv$$

$$dx = \frac{a^2 dv}{a^2 - v^2}$$

Fiat $v = \frac{ay - a^2}{y + a}$

erit $dv = \frac{aydy + a^2 dy - aydy + a^2 dy}{(y+a)^2}$

$$= \frac{2a^2 dy}{(y+a)^2}$$

& $v^2 = \frac{a^2y^2 - 2a^3y + a^4}{y^2 + 2ay + a^2}$

adeoque $a^2 - v^2 = \frac{a^2 - a^2y^2 + 2a^3y - a^4}{y^2 + 2ay + a^2}$

$$= \frac{a^2y^2 + 2a^3y + a^4 - a^2y^2 + 2a^3y - a^4}{(y+a)^2}$$

$$= \frac{4a^3y}{(y+a)^2}$$

Ergo $\frac{a^2 dv}{a^2 - v^2} = \frac{2a^4 dy (y+a)^2}{4a^3 y (y+a)^2}$

$$= \frac{\frac{1}{2} ady}{y}$$

Habemus itaque $dx = \frac{1}{2} ady : y$, quæ est æquatio ad Logarithmicam, cujus subtangens $\frac{1}{2} a$.

Sit itaque $AB = a$, BF ad AB in puncto B, AC ad eandem rectam in altero extremo A perpendicularis. Describatur Logarithmica BOI, cujus asymptotus AC, subtangens $= \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} a$. Si jam sumatur $AP = x$; erit $PO = y$, adeoque $OK = y - a$, consequenter $dx = \frac{1}{2} ady : y$ (§. 54. *Anal. infin.*). Jam vero vi calculi $v = (ay - a^2) : (y + a)$, adeoque $y + a : y - a = a : v$. Est itaque $PO + AB : OK = AB : PQ$. Quare cum $PQ = v$ sit celeritas tempore x residua; recta AP tempus, PQ celeritatem residuam, seu hoc tempore acquisitam exponit, consequenter AQH est curva celeritatum residuarum (§. 682.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

723. Quodsi fiat PM = AP & MN = QP; erit punctum N in curva resistentiæ totalis ANG. Quoniam enim AP tempus exponit, PM est ut celeritas cadendo in vacuo, seu medio non resistente acquisita (§. 68.). Quare cum QP sit

sit ut celeritas in medio resistente tempore AP acquisita (§. 722.); si MN ipsi QP æqualis fiat, erit PN ut celeritas resistentia medii extincta tempore AP. Est igitur ANG curva resistentiæ totalis (§. 682.).

THEOREMA 167.

Tab. XIIX Fig 176. 724. *Iisdem positis, quæ in propositione præcedente dupla subtangens* AB *Logarithmicæ* BOI, *cujus ope curva celeritatum residuarum* AQH *construitur, celeritatem maximam exponit, quam grave in medio in ratione duplicata celeritatum resistente cadendo acquirere potest; eam vero grave non acquirit nisi tempore infinito elapso & recta* BF *est curvæ celeritatum residuarum* AGH *asymptotus.*

DEMONSTRATIO.

Ponamus semiordinatam QP, quæ celeritatem in medio resistente tempore AP acquisitam exponit, fieri ipsi AB seu subtangenti Logarithmicæ BOI æqualem; punctum H coincidit cum puncto F, curva nimirum AQH cum recta BF concurrente. Est vero PO + AB : OK = AB : PQ (§. 722.), hoc est, OK + 2 AB : OK = AB : PQ. Quare si PQ ipsi AB æqualis fieri debet, necesse est ut OK æqualis evadat ipsi OK + 2 AB. Enimvero hoc fieri nequit, nisi quando 2 AB respectu ipsius OK infinite parva evadit (§. 4. *Analys. infin.*), consequenter quando OK, adeoque etiam BF infinita evadit. Ergo PQ ipsi AB æqualis fieri nequit, nisi quando AC infinita evadit. Curva igitur celeritatum residuarum cum recta BF nonnisi infinito intervallo concurrit, atque adeo BF est ipsius asymptotus & AB exponit celeritatem maximam, quam corpus in medio resistente acquirere potest, cumque recta tempus repræsentans AP infinita evadit, quando fit PQ = AB, celeritas maxima nonnisi infinito tempore acquiritur. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

725. Quoniam OK + 2 AB : OK = AB : PQ (§. 722.); erit AB — PQ : PQ = 2 AB : OK (§. 193. *Arithm.*), hoc est, KQ : QP = 2 AB : OK, seu differentia celeritatis dato tempore acquisitæ a maxima, quæ in medio resistente acquiri potest, est ad celeritatem dato tempore acquisitam ut dupla maxima, quæ acquiri potest, ad semiordinatam OK Logarithmicæ BOI applicatam ad asymptotum BF curvæ celeritatum in medio resistente acquisitarum AQH.

COROLLARIUM 2.

726. Quoniam celeritas maxima a gravi cadente in medio, quod in ratione duplicata celeritatum resistit, non acquiritur, nisi infinito tempore elapso (§. 724.); grave

Digitized by Google

grave cadens eandem nunquam attingere potest.

SCHOLION.

727. Hugenius *celeritatem maximam, quam grave in medio resistente acquirere potest*, celeritatem terminalem *appellat* (k).

THEOREMA 168.

728. *Si grave descenderet in vacuo, seu medio non resistente, tempore finito eam celeritatem acquireret, quam in medio sive in simplici, sive in duplicata ratione celeritatum resistente nonnisi tempore infinito acquirere potest.*

DEMONSTRATIO.

Sive enim mobile descendat in medio, quod in ratione celeritatum simplici resistit, sive in medio cadat, quod in illorum duplicata ratione descensum impedit; celeritas maxima, quam cadendo acquirere potest grave, est ut linea quædam data (§. 715. 724.), adeoque finita. Quamobrem cum celeritates in vacuo acquisitæ sint ut tempora (§. 68.); celeritas terminalis gravium in medio resistente tempore finito acquiritur in non resistente. Enimvero eadem celeritas in medio utroque resistente non acquiritur nisi tempore infinito (§. 715. 724.): Ergo in non resistente finito tempore acquiritur, quæ in resistente utroque infinito acquiritur. *Q. e. d.*

THEOREMA 169.

729. *Spatium in vacuo celeritate terminali* AB *tempore* AP *a gravi percursum est ad spatium eodem tempore percursum in medio sive in simplici, sive in duplicata ratione celeritatum resistente ut rectangulum* ABKP *ad aream* AQP. Tab. XIIX Fig. 176.

DEMONSTRATIO.

Quoniam enim mobile in vacuo celeritate terminali latum motu æquabili movetur *per hypoth.* erit idem in ratione composita celeritatis terminalis AB & temporis AP (§. 34.), adeoque ut rectangulum ABKP. Enimvero in omni medio resistente spatium tempore AP percursum est ut area curvæ celeritatum residuarum AQP (§. 708.). Est igitur spatium a gravi in medio resistente percursum, sive motus impediatur in ratione celeritatum, sive in ratione earundem duplicata, ad spatium eodem tempore celeritate terminali in vacuo confectum ut area curvæ celeritatum residuarum AQP ad rectangulum ABKP. *Q. e. d.*

THEO-

(k) in Discursu de causa gravitatis p. 170.

Digitized by Google

THEOREMA 170.

730. *Si celeritate terminali tanquam radio describatur quadrans circuli & celeritas in medio, quod in ratione duplicata celeritatum resistit, a gravi cadendo acquisita exponatur per cosinum arcus, spatium in medio isto descriptum erit ut differentia logarithmorum sinus versi & excessus diametri supra eundem.*

DEMONSTRATIO.

Si enim tempus $= x$, celeritas in medio resistente acquisita $= v$; erit spatium in eodem percursum $\int v dx$ (§. 708.). Reperimus vero supra (§. 722.) $dx = \frac{a^2 dx}{a^2 - v^2}$. Ergo $v dx = \frac{a^2 v dv}{a^2 - v^2}$. Sed $\frac{v\,d\,v}{a^2 - v^2} = \frac{\frac{1}{2} adv + \frac{1}{2} vdv}{(a-v)\,(a+v)} - \frac{\frac{1}{2} adv + \frac{1}{2} vdv}{(a-v)\,(a+v)} = \frac{\frac{1}{2} dv}{a-v} - \frac{\frac{1}{2} dv}{a+v}$. Ergo $v dx = \frac{a^2 v\,d\,v}{a^2 - v^2}$ *per demonstrata* $= \frac{\frac{1}{2} a^2 dv}{a-v} - \frac{\frac{1}{2} a^2 dv}{a+v}$. Jam $\int dv : (a-v) = - l\,(a-v)$ & $\int dv : (a+v) = l\,(a+v)$, quia quantitate constante a sumta pro unitate $a - v$ exprimit numerum unitate minorem, adeoque logarithmum habet negativum (§. 351. *Arithm.*). Ergo $\int v dx = - \frac{1}{2} a^2 l\,(a-v) - \frac{1}{2} a^2 l\,(a+v)$. Sunt ergo spatia in medio resistente tempore x percursa ut $- \frac{1}{2} a^2 l\,(a-v) - \frac{1}{2} a^2 l (a+v)$, consequenter ob constantem $\frac{1}{2} a^2$ ut $- l (a-v)$ Tab.
$- l\,(a+v)$ (§. 181. *Arithm.*), hoc XIIX
est, ut differentiæ Logarithmo- Fig.
rum quantitatum $a - v$ & $a + v$. 176.
Quod si jam celeritate terminali AB describatur quadrans BD ducaturque recta QE ipsi PD parallela; erit AL sinus arcus ED, seu cosinus arcus BE $= v$, adeoque BL sinus versus arcus ejusdem BE $= a - v$, consequenter logarithmus negativus $a - v$ logarithmus sinus versi BL. Jam diameter circuli $= 2a$. Quare si inde subducas $a - v$, relinquetur $a + v$. Est igitur $a + v$ excessus diametri BS supra sinum versum BL, adeoque logarithmus positivus $a + v$ logarithmus excessus diametri BS supra sinum versum BL. Jam cum $- l\,(a-v) - l\,(a+v)$ sit differentia Logarithmi negativi ipsius BL & positivi LS; spatium a mobili in ratione celeritatum duplicata resistente descriptum est ut differentia logarithmorum sinus versi BL & excessus diametri BS supra sinum versum BL, si celeritate terminali descri-

describitur Quadrans circuli BED & AL cosinus arcus BE fiat æqualis rectæ QP, quæ celeritatem tempore AP acquisitam exponit, quo spatium istud confectum est. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

731. Quoniam excessus diametri supra sinum versum est hujus complementum ad diametrum, & differentia Logarithmorum sinus versi & excessus ejus supra diametrum est Logarithmus sinus versi per complementum ejus ad diametrum divisi (*§. 343. Arithm.*), consequenter logarithmus rationis sinus versi ad complementum ejus ad diametrum (*§. 141. Arithm.*); si celeritate terminali sumta pro sinu toto, cosinus arcuum sint ut celeritates cadendo acquisitæ, erunt logarithmi rationis sinuum versorum ad eorum complementa ad diametrum ut spatia temporibus istis descripta, quibus celeritates fuere acquisitæ.

THEOREMA 171.

Tab. XIIX Fig. 176. 732. *Si gravis descensus impeditur in ratione duplicata celeritatum & celeritate terminali* AB *describitur quadrans circuli* BED, *sitque* ER = AL *sinus arcus* ED *ut celeritas in medio resistente cadendo acquisita, erit spatium percursum ut logarithmus sinus complementi* EL.

DEMONSTRATIO.

Patet ex demonstratione precedentis theorematis, si spatium sit s, AL = ER = v, AB = a, esse $ds = \frac{a^2 v dv}{a^2 - v^2}$ (*§. 377. Anal. fin.*). Sit EL = y: erit

$$y^2 = a^2 - v^2$$

$$2ydy = -2vdv$$

$$ydy = -vdv$$

$$-a^2ydy = a^2vdv$$

$$\frac{a^2vdv}{a^2 - v^2} = -\frac{a^2ydy}{y^2}$$

hoc est, $ds = -\frac{a^2dy}{y}$

$$s = -a^2\int\frac{dy}{y}$$

$$= -a^2ly$$

Sunt igitur spatia ut $-a^2ly$, seu propter constantem a (*§. 181. Arithm.*) ut $-ly$. Est vero $-ly$ logarithmus sinus EL, utpote negativus, quia sinus EL continuo decrescunt, crescentibus sinibus ER. Quare si velocitates residuæ sumuntur ut sinus arcuum ED, erunt spatia descripta eodem tempore, quo celeritates istæ cadendo acquisitæ, ut logarithmi cosinuum EL,

Digitized

EL, seu sinuum complementorum arcuum ED. *Q. e. d.*

SCHOLION.

733. *Quodsi dubites summam differentialis* $-a^2dy : y$ *esse* $-a^2ly$, *propterea quod quantitas constans eidem in integratione adjici possit* (§. 95. Anal. infinit.): *adjice quantitatem constantem* c *ut sit* $s = c - a^2ly$. *Quoniam in casu* $v = o$ *evadit* $y = la$, *erit* $c - a^2la = o$. *Sumatur* a *pro unitate*, *erit* $c - la = o$, *adeoque* $c = la$. *Sed logarithmus unitatis* $= o$ (§. 334. Arithm.). *Ergo etiam* $c = o$. *Patet igitur, si* AB *sumatur pro unitate, non opus esse ut quantitas quaedam constans in summatione elementi cosinus* EL *adjiciatur.*

THEOREMA 172.

734. *Si gravi descendenti resistitur in ratione duplicata celeritatum & cosinus arcus* EB *exponit celeritatem cadendo acquisitam, radius vero* AB *celeritatem terminalem; tempus, quo celeritatem istam cadendo acquisivit grave, est ut logarithmus rationis* SL *ad* LB, *seu complementi sinus versi ad diametrum ad sinum versum.*

DEMONSTRATIO.

Si sit $AB = a$, $AL = ER = v$, tempus descensus $= x$; erit $dx = \frac{a^2dv}{a^2 - v^2}$, prouti apparet ex demonstratione theorematis 170 (§. 730.) Jam vero $\frac{adv}{(a-v)(a+v)} = \frac{\frac{1}{2}dv}{a-v} + \frac{\frac{1}{2}dv}{a+v}$ utpote (facta reductione ad denominationem eandem) $= (\frac{1}{2}adv + \frac{1}{2}vdv + \frac{1}{2}adv - \frac{1}{2}vdv) : (a-v)(a+v)$. Ergo $\frac{a^2dv}{a^2-v^2} = \frac{\frac{1}{2}adv}{a-v} + \frac{\frac{1}{2}adv}{a+v} = dx$. Quoniam $\int \frac{dv}{a-v} = -l(a-v)$ & $\int \frac{dv}{a+v} = l(a+v)$; erit $x = \frac{1}{2}al(a+v) - \frac{1}{2}al(a-v)$. Sunt igitur propter constantem $\frac{1}{2}a$ tempora, quibus celeritates v acquiruntur, ut $l(a+v) - l(a-v)$. Jam $l(a+v) - l(a-v) = l\frac{a+v}{a-v}$ (§. 343. *Arithm.*), hoc est, cum sit $a + v = LS$ & $a - v = BL$, $l(a+v) - l(a-v) = l(LS : LB)$, qui est logarithmus rationis LS ad LB (§. 129. *Arithm.*). Ergo si radius circuli AB exponit celeritatem terminalem & AL cosinus arcus BE celeritatem in medio resistente data lege acquisitam; erit tempus, quo celeritas hæc a gravi cadendo acquiritur ut logarithmus rationis complementi sinus versi ad diametrum LS ad sinum versum LB. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

735. Patet ex demonstratione theorematis præsentis esse tempus x ut $l\,\frac{a+v}{a-v}$ si a exponat celeritatem terminalem & v celeritatem tempore x acquisitam. Est vero $a+v$ celeritas acquisita terminali aucta & $a-v$ differentia ejus a terminali, seu complementum ad terminalem, consequenter $(a+v):(a-v)$ exprimit rationem celeritatis acquisitæ terminali auctæ ad ipsius complementum ad terminalem. Tempus igitur est ut logarithmus rationis celeritatis acquisitæ terminali auctæ ad ipsius complementum ad terminalem.

COROLLARIUM 2.

736. Quoniam $QP=v$, $KQ=a-v$; si fiat $PT=AS=AB$; erit $QT=a+v$, consequenter logarithmus rationis TQ ad QK ut tempus.

THEOREMA 173.

737. *Si rationis inter summam celeritatis terminalis & acquisitæ atque differentiam acquisitæ a terminali sumantur ut numeri & descensui gravis resistitur in ratione duplicata celeritatum; erunt tempora, quibus celeritates fuerunt acquisitæ, ut logarithmi.*

DEMONSTRATIO.

Quodsi enim descensus gravis impeditur in ratione duplicata celeritatum & celeritas terminalis fuerit $=a$, acquisita $=v$; erit summa terminalis & acquisitæ $a+v$ & differentia acquisitæ a terminali $a-v$, consequenter ratio summæ istius ad hanc differentiam $=\frac{a+v}{a-v}$ (§. 129. *Arithm.*). Sunt vero tempora, quibus celeritates istæ acquiruntur, ut $l\,\frac{a+v}{a-v}$ (§. 734.). Quare si ratio summæ terminalis celeritatis ac acquisitæ ad differentiam acquisitæ a terminali sumitur ut numerus; erit tempus, quo celeritas acquisita fuit, ut logarithmus. *Q. e. d.*

THEOREMA 174.

738. *Si descensui gravis resistitur in ratione duplicata celeritatum & spatia percursa sint ut logarithmi Sinuum* LE *arcus* BE *quadrantis* BD *celeritate terminali tanquam radio descripti; tempora insumta sunt ut logarithmi rationis inter sinum versum* BL *& complementum ejus ad diametrum* LS. Tab. XIIX Fig. 176.

DEMONSTRATIO.

Si enim descensus gravis impeditur in ratione duplicata celeritatis & celeritate terminali AB descripto quadrante BED cosinus arcus BE, seu arcus ED sinus LA est

est ut celeritas acquisita, spatia percursa sunt ut logarithmi sinuum EL (§. 732.), tempora vero insumta ut logarithmi rationum inter sinum versum BL & ejus complementum ad diametrum LS (§. 734.). Quamobrem quando spatia percursa sunt ut logarithmi sinuum; tempora insumta sunt ut logarithmi rationum inter sinum versum BL & ejus ad diametrum complementum LS. *Q. e. d.*

THEOREMA 175.

739. *Incrementum celeritatis gravium in medio non resistente est ad incrementum acquisitæ in medio, quod in ratione duplicata celeritatis resistit, ut quadratum celeritatis terminalis ad ejus supra quadratum celeritatis acquisitæ excessum.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam celeritas gravium in medio non resistente crescit in ratione temporis (§. 68.); si tempus dicatur x, erit incrementum celeritatis momentaneum in tempusculo scilicet dx uti dv. Jam si celeritas terminalis $= a$, celeritas toto tempore x in medio, quod in ratione duplicata celeritatis resistit, acquisita $= v$; erit $a^2dx - v^2dx = a^2dv$, prouti patet ex demonstratione theorematis 166. (§. 722.). Est igitur $dx : dv = a^2 : a^2 - v^2$. Quare cum dv sit incrementum momentaneum celeritatis in medio data lege resistente acquisitæ, erit incrementum celeritatis in vacuo ad ejus incrementum in medio resistente ut quadratum celeritatis terminalis ad ejus excessum supra quadratum acquisitæ. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

740. Quoniam $(a^2 - v^2) = (a + v)(a - v)$; erit dx ad dv in ratione composita a ad $a + v$ & a ad $a - v$, hoc est, incrementum celeritatis in vacuo momentaneum est in casu dato ad incrementum in medio resistente in ratione composita celeritatis terminalis ad eandem celeritate acquisita auctam & ejusdem celeritatis terminalis ad ipsius supra acquisitam excessum.

THEOREMA 176.

741. *Si motus gravium impeditur in ratione duplicata celeritatum & celeritas terminalis exponitur per rectam* AB=CF, *qua tanquam radio describitur quadrans, eodem vero pro latere potentiæ hyperbolæ sumto intra asymptotos* AC *&* CD *describatur hyperbola* BME *fiatque* HF *celeritati in medio resistente acquisitæ æqualis; area hyperbolica* APMB *exprimit spatium eo tempore a gravi percursum, quo celeritatem ut* HF *acquisivit.* Tab. XIIX. Fig. 177.

 DEMON-

DEMONSTRATIO.

Sit enim $AB = AC = CF = a$, $HF = v$; erit ob $GF^2 = GH^2 + HF^2$ (§. 417. *Geom.*) $GH = CP = \sqrt{(a^2 - v^2)}$, consequenter ob $PC \cdot PM = AB^2$ (§. 488. *Anal. fin.*) $PM = a^2 : \sqrt{(a^2 - v^2)}$. Jam differentiale rectæ $AP = a - \sqrt{(a^2 - v^2)} = \frac{v\,dv}{\sqrt{(a^2 - ^2)}}$. Quamobrem elementum areæ $APMB = \frac{a^2 v\,dv}{a^2 - v^2}$, consequenter area $APMB = \int \frac{a^2 v\,dv}{a^2 - v^2}$. Est vero spatium a gravi interea temporis percursum, quo celeritas v acquisita, $\int \frac{a^2 v\,dv}{a^2 - v^2}$ (§. 730.). Ergo spatium hyperbolicum APMB exprimit spatium a gravi interea temporis percursum, quo celeritas ut HF acquisita. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

742. Quando celeritas acquisita FH in terminalem FC degenerat, semiordinata PM cum asymptoto CD coincidit, adeoque area hyperbolica ABMP degenerat in infinitam EBACD, consequenter spatium repræsentat infinitum a gravi percursum, aut percurrendum. Quoniam itaque celeritatem terminalem non attingit nisi tempore infinito elapso (§. 724.): spatium infinitum a gravi nonnisi tempore infinito percurritur.

THEOREMA 177.

743. *Si intra asymptotos rectangulas* DC & AC *describatur Hyperbola æquilatera* EMB, *cujus latus potentiæ est ut celeritas terminalis*, AP *vero ut tertia proportionalis ad celeritatem terminalem & celeritatem tempore finito acquisitam, spatium hyperbolicum* APMB *exponet spatium eodem tempore a gravi in medio descriptum, quod in ratione duplicata descensui resistit, quo celeritas acquisita fuit.* Tab. XIX. Fig. 177.

DEMONSTRATIO.

Sit $AB = a$, erit etiam latus potentiæ hyperbolæ $= a$. Sit celeritas tempore dato a gravi cadendo acquisita $= v$; erit $PA = \frac{v^2}{a}$ per *hyp.* consequenter $CP = a - \frac{v^2}{a} = \frac{a^2 - v^2}{a}$. Unde ob $CP \cdot PM = a^2$ (§. 488. *Anal. fin.*), reperitur $PM = \frac{a^2}{a^2 - v^2}$. Jam differentiale abscissæ $PA = \frac{2\,v\,dv}{a}$, consequenter ele-

elementum ſpatii hyperbolici ABMP = $\frac{2a^2vdv}{a^2-a^2}$, adeoque ABMP = $2\int\frac{a^2vdv}{a^2-v^2}$. Eſt igitur area hyperbolica ABMP ut $\int\frac{a^2vdv}{a^2-v^2}$ propter conſtantem 2 (§. 181. *Arithm.*). Ex antecedentibus conſtat ſpatium a gravi in medio data lege reſiſtente interea temporis deſcriptum, dum celeritatem v acquirit, eſſe ut $\int\frac{a^2vdv}{a^2-v^2}$ (§. 730.). Idem igitur ſpatium eſt ut ſpatium hyperbolicum aſymptoticum ABMP.

SCHOLION.

744. *Patet adeo, unum idemque ſpatium deſcenſus multis modis per figuras repræſentari poſſe.*

CAPUT XV.

DE MACHINIS SIMPLICIBUS.

DEFINITIO 71.

745. *Machina* vocatur, quicquid ad motum producendum conducit, ut vel virium, vel temporis compendio efficiatur.

SCHOLION.

746. *Quoniam effectus machinarum ex ſtructura ipſarum ſecundum immutabiles motuum leges conſequuntur; omnes operationes rerum corporearum mechanicæ dicuntur, quia agunt ſtructuræ ſuæ convenienter & juxta æternas motuum leges. Hinc manifeſtum eſt, illum demum mechanice philoſophari, qui evidenter oſtendit, quomodo vi legum motus effectus rerum ex ſtructura ipſarum conſequantur. Nec difficulter hinc colligitur, paucos admodum eſſe, qui mechanice philoſophantur. Apparet etiam, philoſophiam mechanicam liberam eſſe ab ea labe, quam imperiti eidem adſpergere conantur. Immo nec obſcurum eſt, ſine Matheſeos præſidio de rebus naturalibus texere philoſophari.*

DEFINITIO 72.

747. Per *Potentiam* intelligo vim, quæ machinæ applicata ad motum tendit, ſive actu eundem producat, ſive non. In priore caſu dicitur *Potentia movens*; in poſteriore *Potentia ſuſtentans.*

DEFINITIO 73.

748. *Pondus* appello, quod ope machinæ vel ſuſtentatur, vel movetur, vel motui producendo utcunque reſiſtit.

DEFI-

Digitized by Google

DEFINITIO 74.

Tab. V. Fig. 58. 749. *Vectis* est linea recta inflexilis & gravitatis expers AB, unico sui puncto C fulcro firmo D innixa, circa quod moveri potest.

COROLLARIUM.

750. Omnia ergo instrumenta, in quibus rectam circa punctum fixum mobilem concipere licet, cui uno in loco pondus aliquod in alio potentia in usu applicatur, ad vectem revocantur, consequenter quæ de vecte demonstrantur, ad eadem recte applicantur.

SCHOLION 1.

751. *Ex natura vectis adeo ratio redditur non modo structuræ & effectuum omnium instrumentorum in officinis artificum atque opificum, nec non passim in vita communi obviorum; sed & motuum animalium: quod posterius primus docuit* Johannes Alphonsus Borellus *in peculiari de* motu animalium *opere.*

SCHOLION 2.

752. *In genere autem notandum est, ubi machinarum leges investigamus, non considerari materiam, ex qua constant, nec materiæ affectiones, neque varias figuras, quæ ob certos usus inducuntur; sed tantum eorum rationem haberi, quæ machinæ essentiam absolvunt, ut nempe constet, quæ machinæ qua tali conveniant. Quodsi enim contingat, vel materiam, vel figuram, vel aliud quodcunque obstaculum impedire, quo minus lex ista accurate observari queat; ea ex suis principiis seorsim sunt determinanda.*

DEFINITIO 75.

753. *Hypomochlium* est fulcrum, cui vectis innititur.

DEFINITIO 76.

754. *Vectis homodromus* est, in quo pondus medium locum tenet inter locum potentiæ B & hypomochlium C, vel potentia A medium locum occupat inter locum ponderis B & hypomochlium C. Tab. V. Fig. 59.

DEFINITIO 77.

755. *Vectis heterodromus* est, in quo hypomochlium medium locum C tenet inter locum ponderis A & locum potentiæ B. Tab. V. Fig. 58.

DEFINITIO 78.

756. *Axis in peritrochio* est circulus AB basi cylindri concentricus & una cum ipso circa axem ejus EF mobilis. Cylindrus ille *Axis*, circulus *Peritrochium*, radii circuli (qui subinde soli comparent) *Scytalæ* appellantur. Tab. V. Fig. 60.

SCHOLION.

757. *Proprie per axem intelligitur virga ferrea, cui circumpositus est cylindrus ligneus scytalis instructus. Enimvero rationem paulo ante reddidi* (§. 752.), *cur definitiones ad geometriam puram revocari consultum sit.*

COROLLARIUM.

758. Axi adeo in peritrochio locus est, quotiescunque in motu machinæ con-

concipere licet circulum circa axem fixum descriptum & cylindri huic circumpositi sectioni basi parallelæ concentricum.

DEFINITIO 79.

Tab. V. Fig. 61. 759. *Trochlea* est circulus circa centrum C volubilis.

DEFINITIO 80.

Tab. V. Fig. 62. 63. 760. *Cochlea* est cylindrus rectus AB spirali similiter sulcatus. Describitur autem illa spiralis, si recta FG motu æquabili in superficie cylindri circumferatur & interea punctum I ex F versus G motu itidem æquabili descendat. *Cochlea mas* est, si superficies convexa; *Cochlea fœmina* vero, si concava fuerit sulcata.

SCHOLION.

761. *Mas & fœmina, si motus gigni debet, semper conjunguntur. Loquor nimirum de cochleæ simplicis usu. Si enim cum axe in peritrochio conjungitur; fœmina opus non est, cum is vices ejus adimpleat. Sed hoc in casu machina composita prodit.*

DEFINITIO 81.

Tab. V. Fig. 64. 762. *Cuneus* est prisma triangulare, cujus bases oppositæ sunt triangula æquicrura acutangula.

AXIOMA 10.

763. *Potentia æqualis est ponderi, quod, salvo effectu, in ejus locum substitui potest.*

SCHOLION.

764. *Patet ex ipsa æqualitatis definitione* (§. 15. Arithm.).

THEOREMA 178.

765. *Si potentia* B *vecti sive homodromo, sive heterodromo applicata sustentat pondus in* A *applicatum, rationem reciprocam distantiarum ab hypomochlio ad pondus habet.* Tab. V. Fig. 58.

DEMONSTRATIO.

Sit primum vectis AB heterodromus. Quoniam supponitur horizonti parallelus; linea directionis utriusque ponderis erit ad ipsum perpendicularis, centrumque gravitatis unius in A, alterius in B (§. 215.). Quodsi ergo pro potentia in B applicata substituatur pondus æquale; habebimus duo pondera, quorum centra gravitatis recta AB connectuntur, eaque in æquilibrio, cum potentia pondus sustentet *per hypothes.* Est igitur C centrum gravitatis commune (§. 122.), consequenter pondus in B, hoc est, potentia ad pondus in A reciproce se habet ut AC ad CB (§. 144.). *Quod erat unum.*

Si vectis fuerit homodromus CB, ponderis G non aliam partem sustentat potentia in B applicata, quam Tab. V. Fig. 59.

Digitized by Google

quam quæ ferenda eſt a fulcro ibi ſuppoſito. Eſt igitur ad pondus A ut diſtantia ponderis ab hypomochlio AC ad diſtantiam potentiæ CB (§. 231.). *Quod erat ſecundum.*

Tab. V. Fig. 65. Si vectis fuerit inclinatus, hoc eſt, ſi linea directionis ponderis & potentiæ cum vecte AB angulum efficiat obliquum, erunt CD & CE ad lineas directionis AF & EG perpendiculares diſtantiæ a centro motus C (§. 229.), conſequenter eodem, quo ante, modo demonſtratur, potentiam ſuſtentantem, quæ in B applicatur, eſſe ad pondus in A ſuſpenſum ut DC ad CE (§. 272.). *Quod erat tertium.*

COROLLARIUM.

766. Qodſi potentia, quæ pondus ſuſtentat, augeatur, præpollebit, adeoque dato vecte pondus movebit.

SCHOLION.

767. *Facile itaque ad vectem ea omnia transferuntur, quæ ſuperius de æquiponderantibus* (§. 144. & ſqq. itemque §. 231. & ſqq. §. 272. & ſqq.) *demonſtrata ſunt.*

PROBLEMA 122.

Tab. V. Fig. 58. 768. *Data gravitate vectis heterodromi* AB, *diſtantia centri gravitatis ab hypomochlio* CV, *diſtantiis ponderis atque potentiæ* AC *&* CB, *una cum pondere* O, *invenire potentiam, quæ ipſum ſuſtentare valet.*

RESOLUTIO.

1. Concipiamus vectem gravitatis expertem & ejus loco in V appenſum pondus eidem æquale G. Quodſi fiat ut AC ad CV ita gravitas vectis ad quartum: reperietur pondus, quod vectis ſuſtentare valet (§. 765.).
2. Subtrahatur id a pondere dato, reſiduum erit pondus a potentia ſuſtentandum.
3. Fiat igitur ut CB ad CA ita pondus reſiduum ad quartum: & reperietur potentia in B applicanda, ut dato vecte datum pondus ſuſtentet (§. 765.).

Sit e. gr. CA=1, CV=2, CB=5, G=10 librarum, O=300. Fiat

1—2—10　　　5—1—280
10　　　　　　1
——　　　　　——
20　　　　　　280

3.00　　　8
——　　　280 } 56 Potentia.
280　　　55

PROBLEMA 123.

769. *Datis gravitate vectis heterodromi* AB, *diſtantia centri gravitatis ab hypomochlio* CV, *diſtantiis potentiæ atque ponderis* BC *&* CA, *invenire pondus ſuſtentandum.* Tab. V. Fig. 58.

RESO-

RESOLUTIO.

1. Quæratur ut in problemate præcedente pars ponderis a vecte solo sustentandi.
2. Quæratur eadem ratione pars altera ponderis, quam potentia in B applicata sustentare valet.
3. Jungantur partes sigillatim repertæ in unam summam. Ita prodit pondus quæsitum.

Sit e. gr. CA = 1, CV = 2, CB = 5, G = 10, potentia 56. librarum: invenietur

ponderis pars prima	=	20
altera	=	280
pondus integrum	=	300

PROBLEMA 124.

Tab. V. Fig. 58. 770. *Datis gravitate vectis heterodromi* AB *pondere sustentando* O, *potentia in* B *applicanda, longitudine ac centro gravitatis vectis* V, *invenire centrum gravitatis commune, seu centrum motus* C.

RESOLUTIO.

1. Concipiatur vectis gravitatis expers & ejus loco in centro gravitatis V appensum pondus G. Quæratur centrum gravitatis commune Z potentiæ in B applicatæ & ponderis G (§. 149.).
2. Subtrahatur ZB ex AB, relinquetur AZ.
3. Concipiatur denique in Z appensum pondus, gravitati vectis & potentiæ junctim sumtis æquale, & inveniatur hujus ponderis & ponderis dati O centrum gravitatis commune C (§. 149.), quod quærebatur.

E. gr. Sit potentia in B 56, gravitas vectis 10, pondus O 300 librarum, AB = 6, VB = 3. Fiat

$66 - 10 - 3$

$\quad 3$

$\overline{\quad 30}$

$ZB = \frac{30}{66} = \frac{5}{11}$

$AB = \frac{66}{11}$

$\overline{AZ = \frac{61}{11}}$

$366 - 66 - \frac{61}{11}$

h. e. $61 \quad 11 \quad \frac{61}{11} \quad \not{6}\not{1} \quad | \; 1 = AC$

$\qquad\qquad 11 \quad \not{6}\not{1}$

$\qquad\qquad \overline{61}$

PROBLEMA 125.

771. *Datis gravitate & centro gravitatis* F *vectis homodromi* CB, *pondere* G, *distantia ejus ab hypomochlio* CA, *una cum distantia potentiæ* CB, *invenire potentiam, quæ pondus sustentare valet.* Tab. V. Fig. 59.

RESOLUTIO.

1. Concipiatur vectis gravitatis expers & ejus loco in F appensum pondus ei æquale, quæraturque

 poten-

Digitized

potentia vectem solum sustentatura (§. 765.).

2. Quæratur porro potentia requisita ad pondus datum G sustentandum (§. *cit.*).

3. Addantur potentiæ sigillatim expertæ in unam summam. Ita prodit potentia quæsita.

Sit e. gr. CA = 1, CF = 3, CB = 6, pondus datum 300. gravitas vectis 10. librarum. Reperietur potentia vectem sustentatura 5, pondus vero solum sustentatura 50, adeoque potentia integra 55. librarum

THEOREMA 179.

772. *Si potentia vecte sive heterodromo, sive homodromo pondus attollit, spatium illius est ad spatium hujus ut hoc ad potentiam, quæ idem pondus tantum sustentare valet.*

DEMONSTRATIO.

Tab. V. Fig. 58. 59. Dum pondus attollitur per arcum A*a*, potentia movetur per arcum B*b*. Sunt vero arcus A*a* & B*b* similes, in vecte heterodromo ob angulos verticales ad C æquales (§. 156. *Geom*), in homodromo, quia concentrici, consequenter A*a* : B*b* = AC : CB (§. 138. 412. *Geom.* & §. 170. *Arithm.*). Sed ut AC ad CB ita potentia ad pondus, quod sustentare valet (§. 756.). Ergo spatium potentiæ ad spatium ponderis ut pondus ad potentiam, quæ idem sustentare valet (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

773. Lucrum itaque virium cum temporis dispendio conjungitur & contra.

PROBLEMA 126.

774. *Stateram construere, hoc est, instrumentum, quo unico pondere mediante diversorum corporum gravitatem explorare licet*

RESOLUTIO.

1. In virga ferrea aut lignea, aut ex quacunque materia alia parata, AB assumatur ad arbitrium punctum C & in eo perpendiculariter erigatur examen seu lingula CD. Tab. V. Fig. 66.

2. Jugum intra trutinam seu scapum GF suspendatur &

3. Brachium minus AC unco AH & lance G alioque quocunque modo oneretur, donec majori æquilibretur, aut non multum ab æquilibrio absit.

4. Pondus I huc illucque promoveatur, donec cum una, duabus, tribus, quatuor &c. libris in lance G collocatis æquilibretur, notentur puncta, in quibus I ponderat ut una, duæ, tres, quatuor &c. libræ.

Ipsa

Digitized by Google

Ipsa constructio loquitur, hoc modo unici ponderis I ope pondera corporum admodum differentium explorari posse (§. 756.).

SCHOLION. 1.

775. *Quodsi onera ingentia, quales sunt currus fæno onusti, ponderanda, non opus est, ut ad æquilibrium reducantur brachia; ingentes vero illæ stateræ trutina & lingula non habent opus. Situs enim jugi horizontalis, quantum ad praxin sufficit, nudo oculo facile dignoscitur. Nec in stateris minoribus attenditur æquilibrium brachiorum.*

SCHOLION 2.

776. *Empirica stateræ, qua utuntur artifices, divisio geometricæ præferenda est, qua brachium longius* BC *ejusdem ubique spissitudinis in partes æquales dividi jubetur. Neque enim materiæ conditio artificumque negligentia patitur, ut constructio satis sit accurata.*

SCHOLION 3.

777. *Cum pondera non ubivis locorum æqualia sint; stateræ quoque empirico modo constructæ universales non sunt.*

SCHOLION 4.

778. *Utût autem commodissimus sit stateræ usus, quia non multis opus est ponderibus & axis minus gravatur; e vita tamen communi eam proscribi præstat, quoniam venditores fraudulenti fallacem facile reddunt, nec adeo in promptu sit fallaciam retegere. Ad communem itaque usum construuntur libræ æqualium brachiorum. Sed antequam constructionem tradamus, fundamenta quædam theoretica sunt præmittenda*

THEOREMA 180.

779. *Si libra, cujus centrum motus* C *fuerit supra rectam, e cujus extremis pendent pondera æqualia* H *&* I, *horizonti sit parallela, quiescit; sed si inclinatur, tamdiu movetur, donec iterum horizonti sit parallela.* Tab. V. Fig. 67.

DEMONSTRATIO.

Si enim jugum AB horizonti parallelum, lineæ directionis ponderum ad eam sunt perpendiculares (§. 212.), adeoque brachia AL & LB coincidunt cum distantiis a centro motus (§. 229.). Quare cum sit AL = LB; erit in L centrum gravitatis commune ponderum (§. 145.). Ex hoc igitur suspensa quiescunt (§. 124.). *Quod erat unum.*

Quodsi ex situ suo dimoveatur; ducatur CD ad horizontem perpendicularis & GF cum eodem parallela: erunt distantiæ GE & EF (§. 229.), quæ cum inæquales sint, pondera non æquilibrantur (§. 765), sed alterum I præponderat (§. 152.): quod cum descendat, redit libra in statum horizonti parallelum. *Quod erat alterum.*

THEOREMA 181.

Tab. V. Fig. 68. 780. *Si libra, æqualibus ponderibus utrinque onusta, cujus centrum motus infra jugum* AB, *fuerit horizonti parallela, quiescit; si vero inclinatur, in situm horizontalem non revertitur, sed descendit pondus unum, donec libra pervenerit in situm priori contrarium.*

DEMONSTRATIO.

Si jugum AB fuerit horizontale, erunt lineæ directionis ponderum H & I ad id perpendiculares (§. 212.), adeoque distantiæ a centro motus rectæ AL & LB (§. 229.). Est vero AL = LB, ex natura libræ, adeoque cum pondera itidem æqualia sint, *per hypoth.* centrum gravitatis commune eorundem est in C (§. 145.), adeoque situm non mutat (§. 124.). *Quod erat unum.*

Si jugum inclinetur, ducatur DC ad horizontem perpendicularis & per E recta GF eidem parallela; erunt distantiæ GE & EF a centro motus C inæquales. Præponderat ergo H ex majori distantia EG, adeoque continuo descendit, donec A, B & L sint in eadem recta horizontali (§. 152.). *Quod erat alterum.*

THEOREMA 182.

781. *Si libra, æqualibus ponderibus utrinque onusta, cujus centrum motus* C *in ipso jugo* AB, *fuerit horizonti parallela, quiescit, nec quomodocunque inclinata situm mutat.* Tab. V. Fig. 69.

DEMONSTRATIO.

Prius eodem modo patet, quo in theoremate præcedente. Posterius ita demonstratur. Ducatur DE per C horizonti parallela, erunt DC & CE distantiæ ponderum H & I (§. 229.). Sed ob rectos ad E & D atque verticales angulos ad C æquales (§. 156. *Geom.*), itemque AC = CB, ex natura libræ, erit DC = CE (§. 252 *Geom.*). Quare cum pondera H & I æqualia sint *per hyp.* adhuc æquilibrantur (§. 765.). Libra igitur quiescit. *Q. e. d.*

PROBLEMA 127.

782. *Libram construere, hoc est, instrumentum, in cujus extremitatibus appensa gravia æqualia æquiponderant in situ horizontali.*

RESOLUTIO.

1. Jugum AB bifariam dividatur in C, ita ut brachia AC & CB sint ejusdem longitudinis, sintque tum brachia cum uncis suis A & B, tum lances D & E ejusdem prorsus ponderis, ita ut jugum Tab. V. Fig. 70.

Digitized by Google

gum ex puncto C appensum tam lancibus instructum, quam sine iisdem situm tueatur horizontalem.

2. In medio jugi puncto C excitetur perpendiculariter examen sive lingula CF.

3. Jugum denique intra trutinam HI ita suspendatur, ut centrum motus C sit paulo supra jugum seu rectam AB, quæ appensionum puncta A & B conjungit, vel ut centrum motus sit in ipsa recta AB.

Dico, si libra ex trutina HI suspensa examen intra eandem abscondatur, gravia lancibus imposita esse æqualia, seu gravitatem utriusque esse eandem.

DEMONSTRATIO.

Si libra ex I suspendatur, erit trutina HI ad lineam horizontalem perpendicularis (§.215.). Quodsi ergo lingula intra eam absconditur, cum ea sit ad jugum AB perpendicularis *per constructionem*, jugum AB erit horizonti parallelum. Quare cum centrum motus C sit vel in jugo AB, vel supra jugum, *per constr.* pondera utrinque suspensa æqualia sunt (§. 779. 781.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

783. Si brachia sint inæqualia, libra dolosa est.

SCHOLION 1.

784. *Præstat brachia esse longiora, quam breviora, quia idem error in divisione brachiorum admissus minorem in ponderibus producit, si brachia longiora, quam si breviora. Fac enim brachium* AC *esse justo longius uno scrupulo quarto seu una decima lineæ. Si brachium* AB $= 5''$, *erit* BC : AC $= 500 : 501$. *Si* AB $= 5'$; *erit* BC : AC $= 5000 : 5001$. *In casu itaque posteriori differentia brachiorum est* $\frac{1}{5000}$; *in priore* $\frac{1}{500}$ *brevioris. Hinc & pondus majus in casu posteriore excedere debet minus* $\frac{1}{5000}$ *sui, in priore autem* $\frac{1}{500}$ *sui.*

SCHOLION 2.

785. *Vulgares libræ ita construuntur, ut centrum motus sit paulo altius jugo, quo libra ex situ horizontali emota, ponderibus utrinque æqualibus appensis, non quiescat, nisi eidem restituta* (§. 779.). *Non tamen nimis ab eo removeri debet, ut lingula minores declinationes indicet.*

SCHOLION 3.

786. *Ne affrictus impediat jugi e situ horizontali emotionem, axis ejus, qui trutinæ inseritur, cylindricus sit & foramen in trutina rotundum, ut contactus exiguus evadat. Immo motus jugi pernicior evadit, si axis in aciem desinat, qua parte trutinam tangit. Unde & jugum leve ac tenue esse debet, quantum per materiam ponderandam fieri potest, ut minori*

Digitized by Google

nori vi e situ suo dimoveatur, sicque accuratius indicet æquilibrium.

PROBLEMA 128.

787. *Libram propositam examinare, utrum accurata sit, nec ne.*

RESOLUTIO.

Permutentur lances aut pondera in iisdem æquilibrata. Quodsi enim maneat æquilibrium, libra accurata est; sin minus, dolosa.

DEMONSTRATIO.

Si enim libra dolosa est, brachia inæqualia sunt (§. 783.) adeoque lanx ex majori brachio suspensa levior altera (§. 765.). Quare si lancem leviorem e minori, graviorem e majori brachio suspendas: præponderabit e majori brachio suspensa, adeoque æquilibrium tollitur (§. 152.). *Q. e. d.*

PROBLEMA 129.

Tab. V. Fig. 70. 788. *Libra dolosa verum pondus mercis explorare.*

RESOLUTIO.

1. Merce in lance E collacata, notetur pondus in altera D ipsi æquilibratum.
2. Eadem translata in D, notetur pondus in E ipsi æquilibratum.
3. Pondera ista in se invicem ducantur &
4. Ex facto radix quadrata extrahatur. Dico hanc esse verum mercis pondus.

Sit e. gr. pondus in E = 10, in D = 9 librarum, reperietur verum mercis pondus $9\frac{58}{100}$.

DEMONSTRATIO.

Est enim ut AC ad BC ita merx ad pondus in D positum & ut AC ad BC ita pondus in E ad mercem (§. 765.). Ergo mercis pondus est medium proportionale inter pondera in lancibus D & E collocata (§. *167. 156. Arithm.*), consequenter æquale radici ex facto ponderum in se invicem extractæ (§. *301. Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

789. Si verum mercis pondus inventum, ratio brachiorum non amplius latet. Est enim AC ad CB ut pondus mercis ad pondus in D ipsi æquilibratum (§. 765.), e. gr. in nostro exemplo ut 948 ad 900 seu ut 235 ad 225 (§. *181. Arithm.*).

COROLLARIUM 2.

790. Data ratione brachiorum AC & CB facile determinatur error in æquilibrio admissus (§ 765.). Æquiponderent e. gr. in lance E 100 libræ merei in altera D collocatæ. Ut habeatur quæsitum, fiat.

Digitized by Google

237 — 225 — 100
100
2250
237) 225.00 (95 fere
2133.
1170
1185

Dolus ergo committitur 5 librarum.

COROLLARIUM 3.

791. Invenitur quoque pars, qua brachium longius excedit minus, iisdem datis. Sit enim jugum integrum 100 partium. Fiat ut summa brachiorum 237 + 225 seu 462 ad majus 237 ita 1000 ad idem brachium in partibus jugi millesimis 513 fere. Sed ex natura libræ esse debet 500: excedit ergo veram quantitatem particulis 13, qualium scilicet jugum est 1000.

THEOREMA 183.

Tab. VI. Fig. 71. 792. *Si potentia ope axis in peritrochio sustentet pondus* G *sitque linea directionis* AL *ad radium rotæ, vel ad scytalam perpendicularis; erit ut radius axis* CE *ad radium rotæ* CA, *seu longitudinem scytalæ, ita potentia ad pondus.*

DEMONSTRATIO.

Quodsi potentia in A applicata deprimit rotam vel scytalam, perinde est ac si vecte heterodromo ACE, cujus centrum motus in C, pondus G sustentaret. Si vero in *a* applicata eandem attollit, perinde est ac si vecte homodromo *a*EC pondus idem G sustentaret. Omnes enim machinæ partes reliquæ ad ponderis sustentationem nil conferunt, cum utrinque sibi mutuo æquilibrentur, ut machina tanquam gravitatis expers considerari possit. Jam cum linea directionis potentiæ in A vel *a* sit ad AC vel *a*C perpendicularis *per hypoth.* & funis EG a pondere G extensus ad EC horizontalem *per hypoth.* similiter normalis (§. 215.); erit ut CE ad CA vel ut EC ad C*a* ita potentia ad pondus (§. 765.). *Q. e. d.*

THEOREMA 184.

793. *Si potentia in* F *deprimat rotam juxta lineam directionis* FD *ad radium rotæ obliquam, sed directioni perpendiculari parallelam; ad potentiam, quæ juxta directionem perpendicularem* AL *agit, eam habet rationem, quam sinus totus ad sinum anguli directionis* DFC. Tab. VI. Fig. 71.

DEMONSTRATIO.

Quoniam FD perpendicularis ad AC, *per hypoth.* erit DC potentiæ in F applicatæ distantia a centro motus C (§. 229.). Est ergo ut potentia in F ad pondus G ita EC ad CD (§. 272.) & ut potentia in A ad pondus G ita EC ad

CA (§. 792.). Ergo potentia in F ad potentiam in A ut DC ad AC (§. *199. Arithm.*). Sed si AC vel FC (§. *40. Geom.*) sumatur pro sinu toto, erit DC sinus anguli DFC (§. *2. Trigon.*). Potentia igitur in A est ad potentiam in F ut sinus totus ad sinum anguli directionis DFC. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

794. Quare cum distantia potentiæ in A sit radius CA; dato angulo directionis DFC inveniri potest distantia DC.

Sit e. gr. FC = 4′ & DFC = 48°. Calculus ita subducetur:

Log. sin. Tot.	100000000
Log. FC	06020600
Log. sin DFC	98710735
Log. DC	X0.4731335,

cui quam proxime respondent in tabulis 2′ 9″ 7‴.

THEOREMA 185.

Tab. VI. Fig. 71. 795. *Potentiæ in diversis punctis* F *&* K *rotam juxta directiones* FD *&* KI *perpendiculari* AL *parallelas deprimentes sunt inter se ut distantiæ a centro motus* CD *&* CI *reciproce.*

DEMONSTRATIO.

Est enim potentia in F ad pondus G ut EC ad CD & idem pondus G ad potentiam in K ut IC ad CE (§. 799.). Ergo potentia in F ad potentiam in K ut IC ad CD (§. *198. Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

796. Crescente adeo distantia a centro motus, potentia decrescit & contra, pondere manente eodem.

COROLLARIUM 2.

797. Quare cum radius AC sit distantia maxima & potentiæ juxta lineam directionis ad eundem perpendicularem agenti conveniat (§. 792.); erit potentia perpendicularis omnium minima, quæ datum pondus G sustentare valent juxta diversas directiones parallelas agentes.

COROLLARIUM 3.

798. Si ex centro C erigatur radius CH ad AC perpendicularis, erit FD eidem parallela (§. *256. Geom.*). Quare si ex F demittatur perpendicularis FM, erit eadem ipsi AC parallela (§. *cit.*), consequenter FM = DC (§. *257. Geom.*). Cum adeo FM sit distantia potentiæ in F applicatæ; in praxi facile definitur absque calculo.

THEOREMA 186.

799. *Si potentia juxta perpendicularem* AL *deprimit rotam & pondus* G *attollit, erit spatium potentiæ ad spatium ponderis, ut pondus ad potentiam, quæ id sustentare valet.* Tab. VI. Fig. 71.

DE-

DEMONSTRATIO.

Dum rota ſemel circumvolvitur, potentia integram ejus peripheriam percurrit. Interea autem pondus attollitur per ſpatium peripheriæ axis æquale. Eſt itaque ſpatium potentiæ ad ſpatium ponderis ut peripheria rotæ ad peripheriam axis, conſequenter ut radius rotæ AC ad radium axis CE (§. *412. Geom.*). Sed ut AC ad CE ita pondus ad potentiam, quæ id ſuſtentare valet (§. 729.). Ergo ſpatium potentiæ eſt ad ſpatium ponderis ut pondus ad potentiam, quæ id ſuſtentare valet (§ *167. Arithm.*). *Q. e. d.*

PROBLEMA 130.

800. *Dato pondere dataque potentia ipſum ſuſtentatura axem in peritrochio conſtruere.*

RESOLUTIO.

1. Aſſumatur radius axis ponderi ſuſtentando conveniens, ne ſcilicet axis frangatur.
2. Fiat ut potentia ad pondus ita radius axis ad radium rotæ, ſeu longitudinem ſcytalæ (§. 792.).

COROLLARIUM.

801. Quodſi potentia fuerit pars ponderis exigua, radius rotæ enormis prodit. E. gr. Sit pondus 3000, potentia 50 librarum; erit radius rotæ ad radium axis ut 60 ad 1. Hinc ſi radius axis non excederet pedem dimidium, foret radius rotæ pedum 30.

SCHOLION.

802. *Huic malo medela affertur, rotas cum axibus multiplicando, & ut una alteram circumagere valeat, dentibus vel etiam tympanum paxillis inſtruendo.*

THEOREMA 187.

803. *Si pluribus rotis dentatis potentia aliqua, cujus linea directionis* KL, *peripheriam ultimæ tangit, pondus* A *ſuſtentat; erit ea in ratione compoſita omnium earum, quas radii axium ad radios rotarum habent, nempe* CB:CD, EF:EG, HI:HK. Tab. VI. Fig. 72.

DEMONSTRATIO.

Quodſi concipiamus potentiam applicari in D: erit ea ad pondus A ut CB ad CD (§. 792.), conſequenter = A . CB : CD (§. *297. Arithm.*). Axis igitur DF tantopere gravatur, ac ſi pondus A. CB : CD appenderetur. Concipiamus itaque porro potentiam in G applicari, quæ hoc pondus ope rotæ alterius ſolius, conſequenter pondus A ope duarum ſuſtentet. Cum ſit ad pondus A. CB:CD ut EF ad FG (§. 792.); reperietur = A . CB . EF : CD . EG (§. *297.*

Digitized by Google

(§. 297. *Arithm.*). Quare axis tertius GI tantopere gravatur, ac si pondus A. CB. EF : CD. EG appenderetur. Quoniam potentia in K est ad hoc pondus ut HI ad HK (§. 792.); reperietur ea = A. CB. EF. HI : CD. EG. HK (§. 297. *Arithm.*) & ita porro, si plures fuerint rotæ. Est igitur potentia in K applicata ad pondus A, quod ope plurium rotarum sustentat, ut A. CB. EF. HI : CD. EG. HK ad A, hoc est, ut A. CB. EF. HI ad A. CD. EG. HK (§. 178. *Arithm.*), adeoque & ut CB. EF. HI ad CD. EG. HK (§. 181. *Arithm.*), consequenter in ratione composita CB : CD, EF : EG & HI : HK (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

804. Quodsi pondus ducas in factum ex radiis axium & productum dividas per factum ex radiis rotarum; potentia ipsum sustentatura reperitur, quæ aucta idem attollet. Sit e. gr. A = 6000 librarum, BC = 6″, CD = 34″, EF = 5″, EG = 35″, HI = 4″, HK = 27″; erit BC. EF. HI = 120. & CD. EG. IK = 32130 & hinc potentia = 6000. 120 : 32130 = $22\frac{3314}{3213} = 22\frac{146}{357} = 21\frac{1}{2}$ quam proxime.

COROLLARIUM 2.

805. Si vero potentiam ducas in factum ex radiis rotarum & productum dividas per factum ex radiis axium; prodibit pondus, quod sustentare valet. Sit e. gr. Potentia $22\frac{146}{357}$ librarum, reliqua omnia sint ut ante; reperietur pondus 6000.

SCHOLION.

806. *Loco ultimæ rotæ in praxi adhibetur manubrium* ABCD, *ubi* AE *radio axis,* CD *radio rotæ respondet.* Tab. VI. Fig. 73.

PROBLEMA 131.

807. *Data potentia datoque pondere, invenire numerum rotarum & in unaquaque rationem radii axis ad radium rotæ definire, ita ut potentia peripheriæ rotæ ultimæ applicata juxta directionem perpendicularem pondus datum sustentet.*

RESOLUTIO.

1. Dividatur pondus per potentiam.
2. Quotus dispergatur in factores.

Dico, numerum factorum indicare numerum rotarum, radiosque axium se habere ad radios rotarum ut unitatem ad factores singulos.

Sit e. gr. pondus 3000 librarum & potentia 60, erit quotus 500, qui resolvitur in factores 4. 5. 5. 5. Quatuor igitur construi possunt rotæ, in quarum una radius axis est ad radium rotæ ut 1 ad 4, in reliquis ut 1 ad 5.

DEMONSTRATIO.

Si pondus per potentiam dividitur,

Digitized by Google

ditur, unitas est ad quotum ut potentia ad pondus (§. *69. Arithm.*). Est igitur potentia ad pondus in ratione composita unitatis ad singulos factores (§. *159. Arithm.*). Quare si radii axium fiant ad radios rotarum ut unitas ad eosdem factores; potentia erit ad pondus in ratione composita radiorum axium ad radios rotarum. Potentia igitur pondus sustentare valet ope machinæ constructæ (§. 803.). *Q. e. d.*

SCHOLION.

808. *Quoniam in excessu peccari nequit, consultum est, ubi potentia non exacte dividit pondus, quotum unitate majorem assumere. Similiter unam, immo aliquot unitates quoto addere licet, si in factores commode dispergi nequit.*

THEOREMA 188.

Tab. VI. Fig. 72. 809. *Si ope duarum rotarum potentia movet pondus, revolutiones tardius motæ sunt ad revolutiones celerius motæ ut peripheria axis celerius motæ ad peripheriam rotæ, cui occurrit.*

DEMONSTRATIO.

Interea dum rota tardius mota M unam revolutionem absolvit, peripheria axis FD, qui eidem occurrit, totam ejus peripheriam emetiri debet. Toties igitur axis FD, consequenter rota N, circumvolvitur, antequam rota M unam revolutionem absolvit, quoties peripheria axis FE in peripheria rotæ M continetur. Sunt adeo revolutiones rotæ tardius motæ ad revolutiones velocius motæ ut peripheria axis FD ad peripheriam rotæ M, cui occurrit. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

810. Eædem igitur revolutiones sunt ut radius axis FE ad radium rotæ DC (§. *412. Geom.*).

COROLLARIUM 2.

811. Cum numerus dentium in axe FD sit ad numerum dentium in peripheria rotæ M ut peripheria illius ad peripheriam hujus; erunt revolutiones rotæ tardius motæ M ad revolutiones celerius motæ N, ut numerus dentium seu paxillorum in axe FD ad numerum dentium in rota M, cui iste occurrit.

THEOREMA 189.

812. *Si ope plurium rotarum* M, *N, O &c. potentia movet pondus* A *erunt revolutiones rotæ celerrime motæ* O *ad revolutiones tardissime motæ* M *in ratione composita ex rationibus peripheriarum rotarum* N, M *&c. ad peripherias axium* IG, DF *&c. qui ipsis occurrunt.* Tab. VI. Fig. 72.

DEMONSTRATIO.

Sint peripheriæ rotarum M & N, *m* & *n*, peripheriæ axium DF & GI *a* & *b*: erit ut *a* ad *m* ita 1 ad numerum revolutionum rotæ N (§. 809.) = *m* : *a* (§. 302. *Arithm.*). Est vero porro ut *b* ad *n* ita *m* : *a* ad numerum revolutionum rotæ O (§. 809.) = *mn* : *ab* (§. 302. *Arithm.*). Quare revolutiones rotæ celerrime motæ O sunt ad revolutiones rotæ tardissime motæ M ut *mn* : *ab* ad 1, hoc est, ut *mn* ad *ab* (§. 178. *Arithm.*) consequenter in ratione composita ex rationibus peripheriarum rotarum M & N ad peripherias axium DF & GI, qui ipsis occurrunt (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM. 1.

813. Quoniam numeri dentium sunt in ratione peripheriarum; revolutiones rotæ tardissime motæ M sunt ad revolutiones rotæ velocissime motæ O in ratione composita earum, quas habent numeri dentium in axibus FD, IG &c. ad numeros dentium in rotis N & M &c. quibus occurrunt.

COROLLARIUM 2.

814. Quia peripheriæ sunt ut radii (§. 412. *Geom.*), revolutiones rotæ tardissime motæ M sunt ad revolutiones rotæ velocissime motæ O in ratione composita earum, quas habent radii axium GH, DE &c. ad radios rotarum GE, DC &c. quibus occurrunt.

COROLLARIUM 3.

815. Quare si factum ex radiis rotarum GE, DC &c. ducas in numerum revolutionum rotæ tardissime motæ M & productum dividas per factum ex radiis axium, qui ipsis occurrunt, GH, DE &c. prodit numerus revolutionum rotæ velocissime motæ O (§. 302. *Arithm.*). E. gr. sit GE = 8, DC = 12, GH = 4, DE = 3, & revolutio rotæ M una, erit numerus revolutionum rotæ O = 96 : 12 = 8.

PROBLEMA 132.

816. *Datis revolutionibus rotæ velocissime circumactæ* O *interea absolutis, dum tardissime mota* M *semel in orbem redit; invenire dentium in axibus & rotis numerum.* Tab. VI. Fig. 72.

RESOLUTIO.

1. Numerus datarum revolutionum dispergatur in factores.
2. Numerus dentium seu paxillorum in axibus pro arbitrio assumtus ducatur sigillatim in singulos factores.

Dico, facta exhibere numeros dentium in peripheriis rotarum, quibus totidem axes occurrunt.

E. gr. Si rota velocissime mota 40 revolutiones absolvat, dum tardissime mota semel circumagitur; resolvatur numerus 40 in factores 5 & 8. Hinc intelligitur, duabus opus esse rotis totidemque axibus dentatis, qui istis occurrant. Quodsi axis

Digitized by Google

axis habuerit dentes 6; rota una habebit 30, altera 48, tertia, cui potentia applicatur, nullis instruenda, figuram sortitura pro potentiæ applicandæ conditione.

DEMONSTRATIO.

Revolutiones rotæ tardissime motæ sunt ad revolutiones velocissime circumactæ in ratione composita numerorum dentium in axibus ad numeros dentium in rotis, quibus occurrunt (§. 813.). Cum itaque numeros dentium in rotis invenerimus, numeris dentium in axibus per factores multiplicatis, in quos numerus revolutionum rotæ velocissime circumactæ resolvitur, sitque adeo unitas ad factores hosce ut numerus dentium in axibus ad numerum dentium in rotis, quibus occurrunt (§. 66 *Arithm.*); revolutiones rotæ tardissime motæ erunt ad revolutiones velocissime circumactæ in ratione composita unitatis ad factores numeri revolutionum posteriorum dati, consequenter ut unitas ad ipsum hunc numerum (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 190.

817. *Si ope plurium rotarum potentia movet pondus, spatium ponderis est ad spatium potentiæ ut potentia sustentans ad pondus.*

DEMONSTRATIO.

Sint peripheriæ rotarum M, N, O &c. *a*, *b*, *c* &c. axium CB, DE, GH &c. *d*, *e*, *f* &c. erit numerus revolutionum rotæ O interea peractarum, dum M semel in orbem rediit, *ab*:*ef* (§. 812.). Jam si rota M semel circumagitur, spatium a pondere percursum æquatur peripheriæ axis BC, spatium vero potentiæ, peripheriæ rotæ O per numerum revolutionum interea absolutarum multiplicatæ. Est igitur spatium ponderis ad spatium potentiæ ut *d* ad *abc* : *ef*, consequenter ut *def* ad *abc* (§. 178. *Arithm.*). Sed $d : a = CB : CD$, $e : b = DE : EG$, $f : c = GH : HK$ (§. 412. *Geom.*) adeoque $def : abc = CB.DE.GH : CD.EG.HK$ (§. 218. *Arithm.*). Ergo spatium ponderis ad spatium potentiæ ut CB.DE.GH ad CD.EG.HK (§. 167. *Arithm.*) & ideo ut potentia sustentans ad pondus (§. 803.). *Q. e. d.* Tab. VI. Fig. 72.

COROLLARIUM.

818. Quo major itaque potentia, eo velocior ponderis motus; quo illa minor, eo hic tardior.

THEOREMA 191.

819. *Spatia ponderis atque potentiæ sunt in ratione composita revolutionum rotæ tardissime motæ ad revolutio-*

lutiones rotæ velocissime motæ & peripheriæ axis istius ad peripheriam hujus.

DEMONSTRATIO.

Sit numerus revolutionum rotæ tardissime motæ $= m$, numerus revolutionum velocissime motæ $= n$, peripheria axis in rota priore $= a$, peripheria posterioris $= b$. Cum in una revolutione spatium ponderis sit a, potentiæ b; erit spatium ponderis, durantibus revolutionibus $m, = ma$; spatium potentiæ, durantibus revolutionibus $n, = nb$. Est igitur spatium ponderis ad spatium potentiæ ut ma ad nb, hoc est, in ratione composita revolutionum m & n, atque peripheriæ axis rotæ tardissime motæ a & peripheriæ rotæ velocissime motæ b (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

820. Cum spatia ponderis & potentiæ sint reciproce ut potentia sustentans ad pondus (§. 817.); potentia sustentans pondus erit ad pondus in ratione composita revolutionum rotæ tardissime motæ ad revolutiones velocissime motæ & peripheriæ axis istius ad peripheriam hujus.

PROBLEMA 133.

821. *Data peripheria axis rotæ tardissime motæ cum peripheria rotæ velocissime motæ & ratione revolutionum rotæ istius ad revolutiones hujus, invenire spatium, quod potentia decurrit, donec pondus emetiatur spatium datum.*

RESOLUTIO.

1. Ducatur peripheria axis rotæ tardissime motæ in antecedentem & peripheria rotæ velocissime motæ in cosequentem rationis.
2. Quæratur ad hæc duo facta & spatium ponderis datum numerus quartus proportionalis: erit is spatium potentiæ quæsitum (§. 819.).

Sit e. gr. ratio revolutionum rotæ tardissime motæ ad revolutiones rotæ velocissime motæ $= 2 : 7$, & spatium ponderis 30 pedum. Peripheria axis rotæ tardissime motæ sit ad peripheriam velocissime circumactæ ut 3 ad 8. Reperietur spatium potentiæ $= 7 \cdot 8 \cdot 30 : 2 \cdot 3 = 7 \cdot 4 \cdot 10 = 280'$.

PROBLEMA 134.

822. *Data peripheria rotæ velocissime motæ, una cum numero revolutionum ejusdem & ratione tam peripheriarum ejusdem rotæ atque axis rotæ tardissime motæ, quam revolutionum utriusque, invenire spatium ponderis.*

RESO-

RESOLUTIO.

1. Ducatur peripheria rotæ velocissime motæ in numerum revolutionum ejusdem, factum erit potentiæ spatium.
2. Ducantur quoque in se invicem tam antecedentes, quam consequentes datarum rationum.
3. Quæratur ad hæc duo facta & spatium potentiæ modo inventum numerus quartus proportionalis: erit is spatium ponderis quæsitum (§. 819.).

E. gr. Sit peripheria rotæ velocissime motæ 10, ratio ejus ad peripheriam axis, ex quo pondus suspenditur, = 8 : 3, numerus revolutionum = 28, ratio revolutionum = 7 : 2. Reperietur spatium ponderis = 3. 2. 28. 10 : 8. 7 = 3. 10 = 30.

PROBLEMA 135.

823. *Data ratione peripheriarum rotæ velocissime motæ atque axis rotæ tardissime motæ, itemque revolutionum utriusque, una cum pondere, invenire potentiam, quæ id sustentare valet.*

RESOLUTIO.

1. Ducantur in se invicem tam antecedentes, quam consequentes datarum rationum.
2. Quæratur ad factum antecedentium, factum consequentium & pondus datum numerus quartus proportionalis; erit is potentia quæsita (§. 820.).

Sit ratio peripheriarum 8 : 3, ratio revolutionum 7 : 2, pondus 2000. Reperietur potentia = 3. 2. 2000 : 8. 7 = 12000 : 56 = 214 $\frac{2}{7}$.

SCHOLION.

824. *Non absimili modo pondus invenitur, si potentia detur & ratio tam peripheriarum axis rotæ tardissime circumactæ, quam revolutionum utriusque.*

PROBLEMA 136.

825. *Datis revolutionibus rotæ velocissime motæ interea absolvendis, dum tardissime mota semel in orbem redit, una cum spatio, per quod pondus elevari debet & peripheria rotæ tardissime motæ, invenire tempus elevationi quæsitæ impendendum.*

RESOLUTIO.

1. Fiat: ut peripheria axis rotæ tardissime motæ ad spatium ponderis datum, ita numerus revolutionum rotæ velocissime motæ datus ad quartum proportionalem, qui erit numerus revolutionum interea absolvendarum, dum pondus emetitur spatium datum.
2. Per experientiam determinetur numerus revolutionum rotæ velo-

velocissime circumactæ intra unius horæ spatium aut tempus datum quodcunque absolvendarum.

3. Per hunc dividatur numerus quartus proportionalis paulo ante inventus.

Quotus erit tempus elevationi ponderis impendendum. *Q. e. d.*

THEOREMA 192.

Tab. V. Fig. 61. 826. *Si potentia* P *ope trochleæ simplicis* Q *pondus sustentat, ita ut linea directionis utriusque tangat peripheriam; erit huic æqualis.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam lineæ directionis potentiæ atque ponderis peripheriam trochleæ tangunt, *per hypoth.* ad radios AC & CB perpendiculares sunt (§. 304. *Geom.*). Jam cum ad sustentationem præter rectam ACB partes reliquæ nil conferant, sitque centrum motus in C (§ 759.); potentia erit ad pondus ut CB ad CA (§. 765.). Sed CB = CA (§. 759.). Ergo potentia ponderi æqualis. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

827. Trochlea igitur simplex, si lineæ directionis potentiæ atque ponderum peripheriam tangunt, nec juvat, nec impedit potentiam, sed ejus directionem tantum mutat.

COROLLARIUM 2.

828. Utimur ergo trochlea, quoties potentiæ trahentis directio verticalis in horizontalem, aut sursum tendens in tendentem deorsum & contra mutari debet.

SCHOLION 1.

829. *Hoc ipso securitati trahentium sæpissime prospicitur. Fac enim pondus ingens esse ad insignem altitudinem attollendum ab operariis funem trahentibus. Quodsi contingat funem* DE *abrumpi & operariorum capitibus imminere pondus, in extremo vitæ periculo constituuntur. Enimvero si ope trochleæ* B *directio verticalis* AB *in horizontalem* BC *mutatur, rupto fune* DE *nihil metuendum periculi.* Tab. VI. Fig. 74.

SCHOLION 2.

830. *Hæc ipsa mutatio lineæ directionis ope trochlearum in horizontalem hunc etiam præstat usum, ut, si potentia aliqua secundum unam directionem plus virium impendere possit, quam secundum alteram, vi maxima utamur, nec non ut potentiis uti liceat, quæ juxta datam directionem agere non possent.* E. gr. *equus non trahit secundum directionem verticalem, trahit tamen secundum horizontalem. Verticalis igitur tractio si mutatur in horizontalem, equus pondus attollere poterit.*

THEOREMA 193.

831. *Si potentia in* E *applicata secundum lineam directionis* BE, *quæ troch-* Tab. VI. Fig. 75.

Digitized by Google

trochleam in B *tangit & funi* AD *parallela est, pondus* F *ex centro trochleæ* C *suspensum sustentet; ponderis subdupla est.*

DEMONSTRATIO.

Patet enim præter rectam AB partes trocleæ reliquas nihil conferre ad ponderis F sustentationem. Cum vero trochleæ diameter AB quasi puncto A incumbat, in eo erit locus hypomochlii (§. 703.). Et quia tam linea directionis ponderis CF, quam linea directionis potentiæ BE ad AB perpendicularis, *per hypoth.* erit potentia in E ad pondus F ut AC ad AB (§. 765.). Est vero AC = $\frac{1}{2}$ AB (§. 759.). Ergo potentia ponderis F subdupla. *Q. e. d.*

SCHOLION.

832. *Cum trochlea cum unco suo & loculamento, quod in usu abesse nequit, una attollatur a potentia sursum trahente secundum directionem* EB, *ejus gravitas ponderi* F *addenda est.*

THEOREMA 194.

Tab. VI. Fig. 77. 833. *Si potentia in* B *applicata ope polyspasti sustentet pondus* F, *ita ut omnes funes* AB, HI, GF, EL, CD *sint inter se paralleli; erit potentia ad pondus ut unitas ad numerum funium* HI, GF, EL, CD, *qui a pondere* F *trahuntur.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam funes omnes sunt inter se paralleli, adeoque a centris trochlearum suarum intervallo radiorum utrinque distant; nulla est ratio, cur a pondere F unus magis trahatur quam alter. Pondus igitur æquali vi omnes extendit, adeoque æqualiter per eos dividitur, ita ut, si fuerint funes quatuor, perinde sit ac si tantum pars quarta ponderis ex fune CD suspenderetur. Potentia igitur in B applicata cum æqualis sit ponderi ex fune CD suspenso (§. 826); quartam nonnisi ponderis partem in præsenti casu sustentat, hoc est, in genere eam ad pondus rationem habet, quam unitas ad numerum funium, quos pondus F extendit. *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

834. *Ne polyspastorum altitudo in nimium excrescat, si ex pluribus trochleis componantur; trochleæ ita junguntur, ut tam omnes superiores, quam omnes inferiores circa communem axem versatiles existant. Tum vero omnes inter se æquales esse debent, ut funes sint paralleli.* Tab. VI. Fig. 77.

SCHOLION 2.

835. *Usus trochlearum insignis est in ponderibus elevandis, tum quod machina spatium exiguum occupet & facile huc illucque transportetur, tum quod insigni virium*

rium compendio pondus satis ingens attolli possit.

COROLLARIUM 1.

836. Cum numerus trochlearum inferiorum & superiorum simul sumtarum æqualis sit numero funium inferiores sustentantium; potentia pondus F ope polyspasti sustentans est ad pondus ut unitas ad numerum trochlearum inferiorum & superiorum simul sumtarum.

COROLLARIUM 2.

837. Datis igitur trochlearum numero & potentia, facile invenitur pondus sustentandum; potentia nempe per numerum trochlearum multiplicatur. Sit e. gr. potentia 50 librarum, numerus trochlearum 5; erit pondus 250.

SCHOLION 3.

838. Dechales (a) *autor est, experientia constare, quod homo simpliciter solo insistens 150 libras elevare possit. Cum igitur 150 librarum potentia ope polyspasti ex 6 trochleis compositi 900 libras sustentare possit; evidens est, quod unus homo ejus ope pondus 900 fere librarum attollere possit.*

SCHOLION 4.

Tab. VI. Fig. 76. 839. *Mire multiplicantur trochlearum vires, si polyspasti plures conjunguntur, tum enim potentia in polyspasto uno ad attollendum pondus* Q *applicanda vicem subit ponderis* F *ex polyspasto altero appensi. Ponamus igitur pondus* Q *esse 1000 librarum & trochleas in unoquoque polyspasto quatuor; erit ergo pondus* F *ex altero polyspasto suspensum nonnisi quarta illius pars, nempe 250, consequenter potentia quarta pars hujus, hoc est, decima sexta totius,* $62\frac{1}{2}$.

PROBLEMA 137.

840. *Datis pondere atque potentia, invenire numerum trochlearum, ex quibus componendus est polyspastus.*

RESOLUTIO.

Pondus per potentiam dividatur, quotus erit numerus quæsitus (§. 836.).

Sit e. gr. pondus 600 librarum, potentia 150; erit numerus trochlearum 4, quarum omnium eadem diameter, si duæ in parte inferiore, duæ in superiore circa communem axem versatiles construantur (§. 834.).

THEOREMA 195.

841. *Si potentia trochlearum ope movet pondus, erit spatium potentiæ ad spatium ponderis ut pondus ad potentiam sustentantem.* Tab. VI. Fig. 76.

DEMONSTRATIO.

Ponamus enim pondus F per pedem unum attolli: evidens est, funium omnium, ex quibus trochleæ inferiores cum pondere sustentantur, longitudinem intervallo unius pedis minui debere. Po-

(a) Mechanic. lib. 4. prop. 4. Mund. Math. Tom. 2. f. m. 189.

Potentia igitur tot pedes extrahere debet, quot sunt funes trochleas inferiores sustentantes. Quare spatium ejus est ad spatium ponderis ut numerus funium trochleas inferiores sustentantium ad unitatem, consequenter ut pondus ad potentiam sustentantem (§.833.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

842. Quo minor itaque potentia pondus ope polyspasti attollit; eo tardius id movetur: ut adeo virium compendium cum temporis dispendio conjungatur.

THEOREMA 196.

Tab. XIIX Fig. 178. 843. *Si potentia in* F *applicata suspendit pondus* E *secundum directionem obliquam* BD *& hujus directio sit itidem obliqua* ED, *linea vero directionis trochleæ* DG *per centrum* C *transit; erit potentia ponderi æqualis & tam ista, quam hoc ad vim, qua trochlea in* L *retinetur, ut sinus anguli* ADC, *vel* BDC *ad sinum anguli dupli* ADBB.

DEMONSTRATIO.

Quoniam enim funes DF & DE quomodocunque extensi trochleam in B & A tangunt, si ex centro C ducantur radii AC & CB; erunt anguli ad A & B recti (§. *308. Geometr.*) & AD = DB (§. *325. Geom.*). Quare cum etiam sit AC=CB (§. *40. Geom.*); erit angulus ADC ipsi CDB æqualis (§. *179. Geom.*). Jam perinde est ac si mobile aliquod secundum directionem CD trahens trahatur a duabus viribus secundum directiones AD & DB trahentibus illique æquipollentibus propter statum æquilibrii *ex hypothesi.* Est adeo vis in F applicata ad pondus E ut sinus anguli ADC ad sinum anguli CDB (§. 253.). Sunt vero anguli æquales *per demonstrata*, adeoque & sinus eorum (§. *142. Geom.* & §. *2. Trigon.*). Quamobrem pondus potentiæ æquale est. *Quod erat unum.*

Jam potentia est ad vim trochleam secundum directionem DC sustinentem ut sinus anguli ADC ad sinum anguli ADB & pondus E ad eandem vim ut sinus anguli BDC ad sinum anguli ADB (§. 253.). Quare cum anguli ADC & BDC æquales sint *per demonstrata*, adeoque dimidii anguli ADB; erit vis trochleam sustentans in statu æquilibrii ponderum E & F ad horum alterutrum ut sinus anguli ADB, quem directiones obliquæ AD & BD intercipiunt ad sinum anguli dimidii. *Quod erat alterum.*

Digitized by Google

THEOREMA 197.

Tab. XIIX Fig 179. 344. *Si ponderis* G *linea directionis* DC *per centrum trochleæ transit & trochlea trahatur secundum directiones obliquas* ED & DF: *erunt hæ vires inter se æquales; ad earum vero alterutram pondus ut sinus anguli a directionibus obliquis intercepti* ADB *ad sinum anguli dimidii* ADC, *vel* BDC.

DEMONSTRATIO.

Eadem est, quæ theorematis præcedentis, ita ut præcedens vix unica immutata litera huc transcribi tota possit.

COROLLARIUM.

345. Quoniam sinus anguli dimidii non est dimidius totius, seu, quod perinde est, simpli anguli sinus non est dimidius dupli (*§. 325 Analys. fin.*); in casu directionum obliquarum potentia pondus, cujus directio per centrum trochleæ transit, sustentans non est ponderis dimidia.

SCHOLION.

346. *Ex duobus hisce theorematis deduci possunt, quæ de trochleis in casu directionum obliquarum præterea demonstranda sunt, quemadmodum videre est apud* Varignonium, *qui hanc staticæ partem diffuse pertractat* (b).

THEOREMA 198.

847. *Si pondus vel resistentia cochlea superanda fuerit ad potentiam ut peripheria a potentia percurrenda ad distantiam binarum helicum* BI, *potentia ponderi æquipollet.* Tab. V. Fig. 62.

DEMONSTRATIO.

Celeritates, quibus moventur potentia & pondus, sunt ut spatia eodem tempore descripta, nempe ut peripheria a potentia percurrenda ad distantiam helicum BI (§. 33.). Sed vires mortuæ sunt in ratione composita celeritatum & massarum (§. 278.). Quare cum potentiæ pondus æquale substitui possit (§. 763.), sitque ut pondus potentiæ æquale ad pondus elevandum aut deprimendum reciproce ut peripheria a potentia percurrenda ad distantiam helicum BI *per hypoth.* celeritates sunt ut massæ reciproce. Ergo vis potentiæ est ad vim ponderis ut factum ex massa potentiæ in massam ponderis ad factum ex massa ponderis in massam potentiæ (§. 159. *Arithm.*). Quare cum hæc facta æqualia sint (§. 207. *Arithm.*); vires æquales sunt.

COROL-

(b) Nouvelle Mecanique, ou Statique Tom. 1. Sect. 3. p. 283. & seqq.

Digitized by Google

COROLLARIUM 1.

848. Cum peripheria a potentia percursa in una cochleæ conversione sit spatium ejus, distantiæ autem duarum helicum BI respondeat spatium ponderis; erit hic quoque spatium ponderis ad spatium potentiæ ut reciproce potentia sustentans ad pondus.

COROLLARIUM 2.

849. Virium itaque compendium cum temporis dispendio denuo conjungitur.

THEOREMA 199.

Tab. V. Fig. 62. 850. *Si distantia helicum* BI *minor fuerit, potentia ad eandem resistentiam superandam applicata minor est, quam si illa major fuerit.*

DEMONSTRATIO.

Est enim ut spatium potentiæ ad helicum distantiam, ita pondus ad potentiam (§. 847.). Quodsi ergo helicum distantia minuitur, spatium potentiæ ad eandem (§. 205. *Arithm.*), adeoque & pondus ad potentiam tationem majorem habet, quam ante. Est igitur potentia in casu posteriore minor, quam in priore (§. 206. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 200.

851. *Si cochlea mas intra fœminam quiescentem convertitur, minor potentia ad eandem resistentiam superandam requiritur, si scytala* CD *longior, quam si brevior.* Tab. VI. Fig. 78.

DEMONSTRATIO.

Ut peripheria scytala CD tanquam radio descripta ad helicum distantiam IK ita resistentia superanda ad potentiam (§. 848.). Sed si scytala longior, major peripheria describitur, quam si brevior (§. 412. *Geom.*). Ergo in illo casu ad distantiam helicum IK (§ 203. *Arith.*), consequenter & resistentia superanda ad potentiam, majorem rationem habet, quam in hoc casu. Quare cum resistentia eadem maneat, *per hypoth.* potentia in casu posteriore major, quam in priore (§. 206. *Arithm.*). *Q. e. d.*

PROBLEMA 138.

852. *Data distantia potentiæ a centro cochleæ* CD, *distantia helicum* IK *& potentia in* D *applicata, determinare resistentiam superandam, vel hac data invenire illam.*

RESOLUTIO.

1. Quæratur peripheria circuli radio CD describenda (§. 429. *Geom.*).
2. Quæratur porro ad distantiam helicum, peripheriam modo inven-

inventam & potentiam datam; vel ad peripheriam inventam, distantiam helicum IK & resistentiam datam numerus quartus proportionalis: erit is in priore casu resistentia superanda, in altero potentia, qua ad resistentiam datam vincendam utendum (§. 847.).

E. gr. Sit distantia helicum 3'', distantia potentiæ a centro cochleæ CD 25'', potentia 30 librarum. Fiat

100 — 314 — 50''
50
117|00 Peripheria a potentia conficienda

Fiat porro

3 — 157 — 30
1 10 10 (§. 316. *Arithm.*)
1570 pondus, cui resistentia æqualis.

PROBLEMA 139.

Tab. VI. Fig. 78. 853. *Data resistentia, quæ data potentia superari debet, cochleæ diametrum, distantiam helicum* IK *& longitudinem scytalæ* CD *definire.*

RESOLUTIO.

1. Distantia helicum & diameter cochleæ pro arbitrio assumantur, si ope scytalæ convertenda est cochlea intra matricem.
2. Fiat ut potentia data ad resistentiam, quam superare debet, ita helicum distantia ad quartum: quæ erit peripheria a scytala CD in conversione cochleæ describenda (§. 847.).
3. Quodsi ergo quæratur semidiameter hujus peripheriæ (§. 429. *Geom.*); habebitur longitudo scytalæ CD.
4. Quodsi vero cochlea fœmina circa marem convertitur sine scytala, peripheria *per n. 2.* inventa eadem fere est, quæ cochleæ, adeoque semidiameter *per n. 3.* reperta cochleæ semidiameter.

E. gr. Sit pondus 6000 librarum, potentia 100, distantia helicum 1''. Reperietur peripheria a potentia percurrenda 6000 : 100 = 60, adeoque longitudo scytalæ, si qua utaris, 1' 9'': si nulla utaris, erit latus cochleæ fœminæ 19''.

COROLLARIUM.

854. Quodsi peripheria cochleæ in rectam BC transferatur, & in B perpendicularis BA erigatur altitudini cochleæ æqualis, tandemque factis B1, 1. 2, 2. 3 &c. distantiæ helicum æqualibus ducantur rectæ C1, D2, E3 &c. parallelogrammum circa cylindrum, cujus peripheria rectæ BC æqualis, circumvolutum helicem, qua cylindrus sulcandus, exhibebit. Tab. VI. Fig. 79.

DEFINITIO 82.

Tab. VI. Fig. 80. 855. *Cochlea infinita* seu *perpetua* vocatur, si rotam stellatam DF circumagit.

COROLLARIUM.

856. Dum cochlea semel circumvolvitur; rota nonnisi unius dentis intervallo promovetur.

SCHOLION.

857. *Dicitur autem ideo infinita, quia sine fine circumagi potest.*

THEOREMA 201.

Tab. VI. Fig. 180. 858. *Si potentia manubrio cochleæ infinitæ* AB *applicata fuerit ad pondus in ratione composita ex peripheria axis rotæ* EH *ad peripheriam manubrio versato a potentia descriptam & revolutionum rotæ* DF *ad revolutiones cochleæ* CB; *ponderi æquivalebit.*

DEMONSTRATIO.

Si peripheriam axis HE per numerum revolutionum rotæ stellatæ DF multiplices, prodibit spatium ponderis G. Sed si peripheria manubrio AB descripta multiplicetur per numerum revolutionum cochleæ CB; factum est spatium potentiæ. Sunt igitur celeritates, quibus pondus & potentia moventur, ut ista spatia (§. 33.). Quare cum pondus ad potentiam sit in ratione reciproca eorundem spatiorum (*per hypothes. & §. 159. Arithm.*); vires sunt in ratione composita earum, quas habet spatium ponderis ad spatium potentiæ & spatium potentiæ ad spatium ponderis (§. 278.), hoc est, ut factum ex spatio ponderis in spatium potentiæ ad factum ex spatio potentiæ in spatium ponderis (§. *159. Arithm.*), adeoque æquales (§. *207. Arithm*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM. 1.

859. Quoniam rotæ motus tardissimus (§. 856.); exigua potentia ingens pondus moveri potest ope cochleæ infinitæ.

COROLLARIUM 2.

860. Utimur ideo cochlea infinita, vel si ingens admodum pondus per exiguum spatium movendum, vel si motus tardissimus efficiendus.

SCHOLION.

861. *Commodus igitur ejus usus est in horologiis. Unde* Hugenius *eadem utitur in automato planetario.*

PROBLEMA 140.

862. *Datis dentium numero, distantia potentiæ a centro cochleæ* AB, *& radio axis* HE *una cum potentia invenire pondus.* Tab. VI. Fig. 80.

RESOLUTIO.

1. Ducatur distantia potentiæ a cen-

centro cochleæ AB in numerum dentium rotæ EF: factum est ut spatium potentiæ interea absolutum, dum pondus conficit spatium peripheriæ axis æquale (§. *412. Geom.* & *856. Mech.*)

2. Quæratur numerus quartus proportionalis ad radium axis, spatium potentiæ modo inventum & potentiam; erit is pondus, quod potentia sustentare valet (§. 858.).

E. gr. Sit AB = 3, radius axis HE = 1, potentia 100 librarum, numerus dentium rotæ DF 48; erit pondus = 3. 48. 100 : 1. 1 = 14400.

SCHOLION. 1.

863. *Apparet hinc, cochleam infinitam in amplificandis potentiarum viribus reliquas omnes antecellere.*

SCHOLION 2.

864. *Solent etiam cochleæ construi, quæ a rotis dentatis circumaguntur, cumque cochlea a singulis dentibus semel circumvolvatur, motus efficitur velocissimus. Hinc ejus usus est in machinis, quæ ad poliendum corpora aspera, veluti ad poliendum vitra, adhibentur.*

THEOREMA 202.

Tab. V. Fig. 64. 865. *Si potentia cuneo ita applicata, ut linea directionis* CD *sit ad latus* AB *perpendicularis, fuerit ad resistentiam superandam, ut* AB *ad* CD, *resistentiæ æquipollet.*

DEMONSTRATIO.

Ponamus cuneum detrudi usque ad rectam GF ipsi AB parallelam: erit DE spatium potentiæ, FG spatium ponderis. Est vero DE : FG = DC : AB (§. *396. Geom.*). Ergo celeritates potentiæ & ponderis sunt ut DC ad AB (§. 33.). Sed vires potentiæ ac ponderis sunt in ratione composita ipsorummet atque celeritatum (§. 278.), potentia vero ad pondus ut AB ad DC, *per hypoth.* Ergo vires sunt AB. DC ad DC. AB (§. *159. Arithm.*), adeoque æquales (§. *207. Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

866. Potentia igitur dimidiæ resistentiæ æquivalens est ad eam ut AC ad DC, hoc est, ut ad sinum totum tangens anguli dimidii cunei ADC (§. *7. Trigon.*).

COROLLARIUM 2.

867. Cum tangens anguli minoris minor sit quam majoris (§. *7. Trigon.*), potentia ad dimidiam resistentiam majorem rationem habet, si angulus major, quam si minor (§. *203. Arithm.*). Unde in priori casu major est quam in posteriori (§. *cit.*), hoc est, cunei acutiores magis potentiæ vires amplificant quam minus acuti.

SCHO-

SCHOLION.

868. *Ex natura cunei reddenda est ratio omnium fere instrumentorum, quibus ad scindendum aut dividendum utimur: qualia sunt cultri, enses, secures, scissella aliaque instrumenta cælatorum.*

CAPUT XVI.

DE POTENTIARUM AD MACHINAS APPLICATIONE.

DEFINITIO 83.

869. Per *potentias animatas* intelligo homines & animantia bruta: *per inanimatas* vero aërem, aquam, ignem, gravitatem, elaterem.

DEFINITIO 84.

870. Potentia dicitur *trudendo movere*, si linea directionis tendit in plagam moventi oppositam.

DEFINITIO 85.

871. Potentia dicitur *deprimere*, si linea directionis tendit a movente deorsum.

DEFINITIO 86.

872. Potentia dicitur *trahere*, si linea directionis tendit ad moventem, seu si mobile sequitur moventem, vel ad eum accedit.

DEFINITIO 87.

873. Potentia dicitur *elevare*, si linea directionis tendit sursum, seu si mobile ascendit.

DEFINITIO 88.

874. Potentia animata dicitur *calcando* movere, si pedibus deprimit, vel protrudit mobile.

DEFINITIO 89.

875. Potentia animata *Versando movere* dicitur, si eidem loco insistentis manus per peripheriam circuli movetur.

PROBLEMA 141.

876. *Machinam construere, quam homo trudendo movere possit.* Tab. VII. Fig. 81.

RESOLUTIO.

1. Cylindrus ligneus EF verticaliter erigatur, ita ut in punctis

Digitized by Google

E & F circa axem EF versari possit.

2. In quatuor fere pedum altitudine infigatur vectis GI.

Quodsi enim homo manibus continuo protrudat vectem GH, cylindrus EF circa axem suum circumagetur (§. 870.).

SCHOLION.

877. *Si machina ita simplex ad pondera attollenda adhibetur*, Ergata *appellari solet*.

COROLLARIUM 1.

Tab. VII. Fig. 82. 878. Quodsi GH fuerit temo cum libra; equus vel taurus *trahendo* machinam movebit (§. 872.).

COROLLARIUM 2.

Tab. VII. Fig. 81. 879. Si annulo L alligetur funis, quem manibus prehendat homo aut corpori suo circumplicet; machinam *trahendo* movebit (§. 872.).

PROBLEMA 142.

Tab. VI. Fig. 83. 880. *Machinam construere, quam homo versando movere possit.*

RESOLUTIO.

Ad cylindrum horizontalem applicetur manubrium vel rectangulum BDC, vel in arcum circuli incurvatum HI. Cum enim homo manu circa centrum radium BD circumducit; versando machinam movet (§. 875. *Mechan.* & §. 131. *Geom.*).

SCHOLION.

881. *Si duo manubria eidem machinæ applicantur, necesse est, ut situm habeant contrarium, quia dum unus manubrium* ABDC *deprimit, alter alterum* EFGH *attollere debet.*

PROBLEMA 143.

882. *Machinam construere, quam homo partim trahendo, partim deprimendo movere possit.*

RESOLUTIO.

Talis est axis in peritrochio EABF. Quodsi enim scytalam A manu prehendas & ad te adducas, trahendo axem EF movebis (§. 872.): sed ubi ulterius eandem deorsum urgeas, deprimendo eundem axem movebis (§ 871.). Tab. V. Fig. 60.

Loco peritrochii sufficiunt scytalæ solæ GH & KI: quæ si duobus in locis ad axem aptentur, duo homines una eandem partim trahendo, partim deprimendo movebunt. Tab. VII. Fig. 84.

SCHOLION.

883. *Si cylindrus horizontaliter positus & solis scytalis instructus ad pondera attollenda aut attrahenda adhibetur*, sucula *vocatur*.

PRO-

Digitized by Google

PROBLEMA 144.

884. *Machinam construere, quam partim trahendo, partim protrudendo movere possit homo.*

RESOLUTIO.

Tab. VII. Fig. 85. 1. Vectis homodromus HFG circa punctum G mobilis trajiciatur per annulum F virgæ ferreæ EF, aut virga alio quocunque modo ad eum firmetur.

2. Per annulum E alteri extremo ejusdem virgæ affixum transeat uncus rectangulus ABCD cylindro interrupto KL infixus.

Quodsi enim manu applicata vectem HG ad te adducas, radius AB semiperipheriam describet, sicque trahendo movebis machinam (§. 872.). Si vero manubrium ABCD, quod nunc partem sui BC tibi obvertit, in pristinum situm redigas; idem radius BA alteram semiperipheriam describet, sicque trudendo movebis machinam (§. 870.).

ALITER.

Tab. VII. Fig. 86. Idem præstabis, si vectis HFG solo affigatur, ita tamen ut, quemadmodum ante, circa punctum G moveri libere possit, reliqua omnia eadem ratione se habeant, ut ante.

SCHOLION.

885. *Uncus interdum geminatur, ut alter sit altero superior & in contrarium positus: ita nimirum duo simul machinam agitare possunt motibus contrariis, uno scilicet trahente, dum alter trudit & contra.*

PROBLEMA 145.

886. *Machinam construere, quam homo calcando movere possit.*

RESOLUTIO.

Construatur tympanum AB cum cylindro circa axem ejus mobile, & ejus altitudinis, ut homo unus vel plures intra ejus ambitum stare possint. Hanc enim calcando cylindrum cum rota circumagent (§. 874.). Tab. VII. Fig. 87.

ALITER.

Construi quoque potest rota ad horizontem inclinata AB, cujus inferior superficies dentibus, superior scalis instruitur: quamvis autem rationem plani inclinati habeat, ut adeo potentia non tota vi sua in eam agat (§. 261.), major tamen distantia a centro motus esse potest, quam in verticaliter erectis. Tab. VII. Fig. 88.

ALITER.

Si pondus movendum sit exiguum & motus celer requiratur, vecte homodromo FH ad horizontem Tab. VII. Fig. 89.

zontem parumper inclinato & circa centrum F mobili utimur, qui virga ferrea HE cum manubrio BE connexus cylindrum GL circumducit, si pede deprimatur. Tab. VIII. Fig. 90. Tornatores filum cylindro circumducunt perticæ flexili aut laminæ elasticæ KN alligatum. Quoniam potentia in G, adeoque in minori distantia, applicatur, motus est celer, utut potentia major esse debeat resistentia in H vincenda (§. 765. 772.).

PROBLEMA 146.

887. *Machinam construere, quam equus, vel bos trahendo movere possit.*

RESOLUTIO.

Tab. VII. Fig. 82. Utendum est cylindro verticaliter erecto NO cum temone HG 8 mininum pedum, ut supra (§. 875.). Præstat autem temonem esse longiorem, quam breviorem, ne vertigine capiatur brutum in peripheria circuli continuo decurrens.

PROBLEMA 147.

Tab. VIII. Fig. 91. 888. *Machinam construere, quam equus, vel bos calcando movere possit.*

RESOLUTIO.

Construendum est tympanum AB subscudibus transversis munitum & super eo stabulo includatur equus, vel bos per solum in C pertusum pedibus posterioribus rotæ insistens subscudemque ad horizontem inclinatam protrudens.

ALITER.

Si pondera minora moveri debent, veluti veru cum assa, tympanum eum in modum construi solet, quo majora (§. 886.), ab hominibus intra earum ambitum consistentibus impellenda, & canis intus collocatur, tam pedibus, quam corporis sui mole eandem circumagens.

SCHOLION.

889. *Cum machinæ hactenus descriptæ omnes, ad axem in peritrochio revocentur, nisi quod nonnullæ earum sint ex vecte & axe in peritrochio compositæ, si attendatur ad lineam directionis potentiæ & inde determinetur distantia a centro motus (§. 229.), virium æstimatio haud difficulter instituitur (§. 765. 792. 793.).*

PROBLEMA 148.

890. *Machinam construere, quæ a pondere descendente moveatur.* Tab. VIII. Fig. 92.

RESOLUTIO.

1. Circa cylindrum AB horizontaliter positum funis circumvolvatur &

2. idem

Digitized by Google

2. idem circa trochleam C circumducatur in magna a pavimento distantia.
3. Ejus denique extremitati alligetur pondus Q, quod dum descendit, cylindrum AB circumagit.

COROLLARIUM 1.

891. Quo major est altitudo, per quam pondus Q descendit, eo diutius durat motus.

SCHOLION.

892. *Hinc horologia, quæ a pondere descendente moventur, in editis turribus collocantur, aut, si index circumagendus fuerit exiguus, in suprema conclavis parte.*

COROLLARIUM 2.

893. Ut pondus Q lento gradu descendat, nec motus ejus acceleretur (§ 79); cylindri AB motus esse debet quam tardissimus, consequenter pondus ad movendam machinam adhiberi nequit, nisi in machinis compositis, ubi motus in principio tardus, sed per plures machinæ partes propagatus fit celerior. (§. 812.).

COROLLARIUM 3.

894. Cum adeo pondus in minori a centro distantia applicandum sit, ibi potissimum huic potentiæ est locus, ubi non magna est resistentia.

COROLLARIUM 4.

895. Quodsi pondus P ex polyspasto EH suspendatur, pondus celerius cylindrum LM circumagere potest. Dum enim per spatium peripheriæ cylindri descendit, & funes fuerint quatuor, cylindrus quater circumvolvitur, cum sine polyspasto nonnisi semel circumageretur. Sed quia funis HI a quarta tantum ponderis P parte trahitur (§. 833.) vel etiam a minore (§. 843.); perinde est, ac si quarta tantum ejus pars, vel etiam quarta minor sine polyspasto ad machinam agitandam adhiberetur. Utendum igitur est polyspasto, ubi spatium non satis altum descensui ponderis conceditur. Tab. VIII. Fig. 93.

PROBLEMA 149.

896. *Pondere appenso adjuvare potentiam moventem.* Tab. VIII. Fig. 94.

RESOLUTIO.

1. Ponderi movendo F alligetur funis EF & circa trochleam G circumducatur.
2. Alteri ejus extremo alligetur pondus D movendo fere æquilibratum.

Quodsi ergo exigua vis applicetur ad funem HD, pondus E movebit.

PROBLEMA 150.

897. *Machinam elateris vi movere.* Tab. VIII. Fig. 95.

RESOLUTIO.

1. Lamella chalybea AB altero sui extremo axiculo CD afferrumi-

rata

nata in gyros contorqueatur & thecæ cylindricæ, cui altero sui extremo afferruminata, includatur.

2. Huic affigatur catenula, altero suo extremo axi coniformi GH alligata.

Quoniam enim laminæ vis elastica continuo minuitur, sub initium utique utpote fortius trahens in minori a centro motus distantia GL applicanda; sub finem vero, ubi segnius trahit, in majori IK (§. 792.): quo obtinetur, ut potentia hæc in se sat inæquabilis, ad motum tamen regularem, qualis est horologiorum portatilium, adhiberi possit.

SCHOLION.

898. *Equidem figura fusi* GH *non conica, sed alia conoida esse debebat & celeberrimus* de la Hire (c) *in ejus constructionem inquirit. Sed cum hypotheses assumere cogatur a rigore veritatis alienas; ipsemet non diffitetur, regulam, quam invenit, praxi non satis exacte respondere. Cæterum vi elastica animantur quoque automata culinaria.*

DEFINITIO 90.

899. *Rota directa* est, quæ ab aqua desuper labente & intra cavitates palmularum collecta movetur. *Rota* vero *retrograda* vocatur, quæ ab aqua celeriter profluente & in infimam rotæ palmulam impetum faciente circumagitur.

COROLLARIUM 1.

900. Quoniam aqua rarissime ea rapiditate fertur, ut rotas molares circumagere possit; ex alto præcipitata impetum acquirat necesse est (§. 79. 289.).

COROLLARIUM 2.

901. Cum itaque corpus grave tamdiu deorsum tendat, quamdiu centro telluris propius fieri potest; locus, ubi rotæ collocantur, centro telluris vicinior esse debet quam is, unde aqua in eas derivatur.

COROLLARIUM 3.

902. Et cum aquæ fluentes successive cadant, a latice seu origine earundem nonnisi exigua declivitas, nempe quam sufficere experientia loquitur, ad distantiam 100 pedum minimum $\frac{1}{4}$ unius pedis, ad summum dimidii, concedenda, reliqua autem proxime ante rotam in præcipitium mutanda.

COROLLARIUM 4.

903. Inquirendum itaque quanto depressior sit locus, ubi rotæ molares constituuntur, quam origo aquarum.

DE-

(c) Traite de Mecanique prop. 72. p. 233 & seqq.

DEFINITIO 91.

904. *Ars libellandi* est ars determinandi declivitatem aquarum, seu generalius, quanto intervallo punctum aliquod sit terræ centro propius quam alterum.

COROLLARIUM.

905. Quoniam lineæ horizontalis puncta singula a centro Telluris æqualiter distant (§. 207.); aquæ libellantur, si linea horizontalis in datorum locorum superiore inventa usque ad inferiorem continuetur & ejus a superficie aquarum distantia utrobique investigetur. Distantiarum enim differentia declivitatem metitur.

DEFINITIO 92.

906. *Libella* est instrumentum, quo invenitur linea horizontalis & ad datum quodcunque intervallum continuatur.

PROBLEMA 151.

907. *Libellam construere.*

RESOLUTIO.

Tab. VIII. Fig. 96.

1. Ex centro semicirculi C suspendatur pondusculum H.
2. Diametro AB infigantur unci E & F.

Quodsi enim funis per uncos E & F ita extendatur, ut filum CD semicirculum appensum bifariam secet; lineam horizontalem apparentem repræsentabit.

DEMONSTRATIO.

Quia pondusculum H filum CD extendit; erit CD linea directionis ejus (§. 17.). Et quia semicirculum bifariam secat *per hypoth.* ad AB perpendicularis est (§. 143. *78 Geom.*). Ergo AB est linea horizontalis apparens (§. 215.). *Q. e. d.*

ALITER.

Tab. VIII. Fig. 97.

1. Regulæ orichalceæ AB afferruminentur dioptræ & inferius in C lamina cochlea E instructa.
2. Laminæ vero huic afferrumminetur prisma excavatum FG cum stylo GHIK bifurcato.
3. Inferius afferruminetur annulus L cum ansula M, ut, si opus fuerit, pondus appendi possit.
4. Paretur denique fulcrum semicirculare aut semiellipticum NO superius in P cochlea PQ instructum, ut instrumentum cruribus IK in cuspides acutas desinentibus in punctis S & T insistere queat.

Quodsi enim fulcimentum mediante cochlea ad arborem aut baculum erectum firmetur, instrumentum eidem insistens vi gravitatis in eum situm sese disponet, ut regula cum dioptris sit horizonti parallela (§. 215.).

ALITER.

Tab. IX. Fig. 98. *Ricciolus* propria experientia fretus hanc libellam (d) commendat.

1. Super regula AB pedum 12 aut ad summum 20 canaliculo excavato inseratur tubus CD ex laminis ferreis stanno obductis, vel cupreis paratus, cruribus CA & BD ad angulos rectos reclinatis.
2. In C & D afferruminentur cochleæ orichalceæ fœminæ, quibus aliæ mares inserantur, ut tubus quam arctissime claudi possit.
3. Glutine quodam in cochleis maribus firmentur tubi vitrei EC & FD ad AB normales.
4. Denique in G afferuminetur globus orichalceus, isque cavus, ne gravitate molestus sit, & intra matricem fulcro affixam ita reponatur, ut libere huc illucque libella moveri & in situ eodem, si necesse sit, immota servari possit. Orificia vero tuborum E & F obturentur, ne aqua effluere possit inter transferendum.

Quodsi enim instrumentum aqua repleas & tubum ita constituas, ut aqua utrobique in tubis vitreis eandem altitudinem AH & BI attingat; erit HI linea horizontalis apparens, cum fluidorum quiescentium partes omnes eandem a centro telluris distantiam habeant: alias enim remotiores vi gravitatis ruerent versus locum inferiorem, qui conceditur.

5. Consultum quoque est, ut ad tubos BD & AC afferruminentur dioptræ K & L ad juvandam collineationem, quamvis etiam sine iisdem per utriusque aquæ superficiem collineatio in omni situ tubi fieri possit.

ALITER.

1. Tubus vitreus, cujus longitudo IL ultra pedis longitudinem excrescere potest, glutine quodam firmetur intra tubulos orichalceos IP & QL, sitque tubus in altero extremo L apertus, sed obturaculo quodam ex subere parato & capite orichalceo instructo claudendus. Tab. IX. Fig. 99.
2. Tubus ita paratus firmetur super regulam ST, ad quam etiam
3. Firmentur dioptræ M & N.
4. Infra hanc regulam firmetur alia minor CD circa axiculum in

(d) Geograph. Reformatæ lib. 6. c. 26. §. 8. f. 230.

in C mobilem, mediante cochlea G nunc attollenda, nunc deprimenda.

5. Intra has regulas sit lamina elastica ex orichalco aut chalybe parata, ut instrumentum tanto accuratius ad situm horizontalem disponi possit.

6. In medio denique regulæ inferioris afferruminetur matrix seu cochlea fœmina K, ut libella ad fulcrum quoddam, quoties ea utendum, firmari possit.

Quodsi tubum vel aqua, vel spiritu vini colorato repleas, ita tamen ut pauculum aëris remaneat, bullulam in superficie fluidi formaturum; ascendet bullula in partem superiorem, si tubus fuerit inclinatus, sed datum situm e. gr. in F tuebitur, si horizontalis fuerit. Levia enim sursum ascendunt, quantum datur.

SCHOLION 1.

907. *Alia libellarum genera a viris celeberrimis* Philippo de la Hire, Roemero, Hugenio, Picardo *inventa describuntur a modo laudato* Picardo (e). *Adhuc alia dedernut* viri Cl. Coupletus (f) & Hartsœkerus (g). *Ego eas descripsi, quas mea instrumentoram suppellex mihi suppeditavit. Omnium fere, quæ passim prostant, descriptionem dedit* Jacobus Leupoldus (h).

SCHOLION 2.

908. *Prima libellarum, quam exhibui, non satis fida.* Ricciolus *enim jam observavit, facile aberrari 5 minutis, immo gradu dimidio, nisi ingens fuerit. Sed moles usum molestum reddit. Facile tamen medela paratur, si scilicet loco semicirculi utamur regula* AB *trium pedum cum altera longiore* CD *quatuor pedum ad angulos rectos priori insistente: quæ si dioptris instruatur & libere suspendatur, fulcro conveniente adhibito, exactissimam libellam constituit.* Tab. IX. Fig. 100.

SCHOLION 3.

909. *Solent quoque a nonnullis in libellationibus præsertim longioribus dioptrarum loco adhiberi telescopia: sed multa circumspectione opus est, ut rite ad instrumenta applicentur. Enimvero ea de re in Astronomia ex principiis opticis dicetur.*

PROBLEMA 152.

910. *Rectificare libellam.*

RESOLUTIO.

Ut certus sis, libellam esse revera in situ horizontali

1. Instrumento in A collocato col- Tab. IX. Fig. 101.

 linea

(e) Traité du nivellement c. 2. p. 37. & seqq.
(f) Memoires de l' Academie Royale des Sciences A. 1699. p. 172.
(g) in Miscellan. Berolinens. p. 328. & in Actis Eruditorum A. 1712. p. 34.
(h) in Theatro Horizontostatico sive libellationis, quod est pars quarta Theatri Statici universalis.

Digitized by Google

lineatio fiat in C centrum tabulæ in B erectæ.

2. Libella, quæ eum in finem duplicibus dioptris instrui debet, invertatur & denuo collineatio fiat in tabulam eandem.

3. Quodsi idem punctum C sit in linea visuali, libella convenientem habet situm; sin in puncto altiori aut depressiori desinat, paulisper attollenda vel deprimenda est (quo spectant regulæ cum cochleis in libellis paulo ante descriptis), donec linea visualis punctum inter duas collineationes medium attingat.

DEMONSTRATIO.

Tab. IX. Fig. 102. Ponamus instrumentum esse in linea horizontali AC & visu attingi punctum C. Si situs instrumenti mutetur, ut B in A & A in B constituatur, cum linea horizontalis non sit nisi unica, adhuc linea visualis AB ultra dioptras continuata in puncto C terminabitur. *Quod erat unum.*

Quodsi instrumentum non sit horizonti parallelum, linea visiva in centro ejus G secabit horizontalem AB eritque HGB = AGF (§. *156. Geom.*), & collineanti per F & H occurret punctum altius D. Quodsi libella invertatur, ut H in *h* & F in *f* constituatur; erit *h*GA = BG*f* (§. *156. Geom.*). Est vero *h*GA = HGB, quia instrumentum situ respectu lineæ horizontalis immutato inversum. Ergo BG*f* = HGB. Quare cum porro, ob rectam D*d*, in quo sunt puncta D & *d*, ad lineam horizontalem perpendicularem anguli recti ad C æquales sint (§. *145. Geom.*); erit CD = C*d* (§. *251. Geom.*), hoc est, linea horizontalis cadit in punctum C intra duo collineata D & *d* medium. *Q. e. d.*

PROBLEMA 149.

911. *Aquas libellare.*

RESOLUTIO.

1. Eo in loco, ubi origo declivitatis statuitur, ope ponderis ex fune suspensi exploretur, quanto intervallo superficies aquæ a ripa absit. Tab. IX. Fig. 101.

2. Idem fiat altero in loco, ubi declivitatis terminus statuitur.

3. Erectis in A & B baculis ad horizontem perpendicularibus cum tabulis D & C nigro colore tinctis, sed cruce alba notatis, atque ope cochleæ in quocunque situ ad baculos firmandis, libella EF collocetur in P.

4. Tabula utraque D & C nunc attollatur, nunc deprimatur,

do-

Digitized by

donec per EF collineanti punctum medium, in quo lineæ albæ sese mutuo intersecant, occurrat.

5. Investigentur exactissime altitudines punctorum D & C, nempe AD & BC atque in schedula notentur.

6. Tum instrumento in Q & baculo AG in M translato, fiat ut ante collineatio in O & H, notenturque altitudines OB & HM. Et ita operatio continuetur, donec terminum declivitatis M attigeris.

7. Addantur in unam summam altitudines AD & BO &c. itemque BC & MH &c. & priori adjiciatur altitudo ripæ in origine declivitatis A, posteriori vero altitudo ripæ in fine declivitatis M.

8. Quodsi enim aggregatum posterius e priori auferas, relinquetur declivitas aquarum a termino A usque ad alterum M fluentium respectu lineæ horizontalis apparentis.

9. Quare si tractus AM fuerit longus; quod ab ea subtrahendum est, ut habeatur declivitas respectu lineæ horizontalis veræ, invenitur per problema 39 (§. 210.) aut sine novo calculo in tabula superius exhibita (§. 217.). Sit e. gr.

altit. ripæ AL	64''	alt. ripæ MN	58''
AD	34	BC	57
BO	68	HM	102
Summa	166	Summa	217
			166
		declivitas LI	51

Sit LK 900 pedum, erit declivitas LI mulctanda 3 lineis, ut relinquatur vera $5' 0'' 7'''$.

DEMONSTRATIO.

Ducantur IN & LK, itemque OG parallelæ; erit DG = OC, HN = GI, DL = BC, OB = GL (§. *226. Geom.*). Ergo DA + AL + OB = GL + BC & HM + MN + BC = GI + BC, consequenter GI + BC − GL − BC = LI. *Q. e. d.*

SCHOLION.

912. *Quoniam in hac operatione facile aberrari potest, consultum est, ut libellatio bis instituatur, nempe primum a termino* A *usque ad terminum* M, *deinde retro a termino* M *usque ad terminum* A.

DEFINITIO 93.

913. *Sectio fluminis* est planum ad angulos rectos secans aquam in alveo fluentem, cujus fundus horizontalis, ripæ autem inter se parallelæ.

COROLLARIUM 1.

914. Quoniam linea directionis particularum aquæ tanquam corporis gravis est ad horizontalem perpendicularis (§ 215) & fundus alvei atque superficies aquæ horizontalis, ripæ vero inter se parallelæ, *per hypoth.* latera plani secantis erunt ad basin perpendicularia & inter se parallela, consequenter opposita æqualia (§. *226. 238. Geom.*), adeoque sectio rectangulum est (§. *100. Geom.*).

COROLLARIUM 2.

915. Invenitur adeo, si latitudo alvei in profunditatem aquæ ducatur (§. *375. Geom.*).

COROLLARIUM 3.

916. Sunt etiam sectiones diversæ in ratione composita latitudinum alveorum & profunditatum aquarum (§. *367. Geom.*).

SCHOLION. 1.

917. *Cum aquæ fluentes nunc intumescant, nunc tabescant, eo potissimum tempore sectionem fluminis dimetiri debet molendina exstructurus, quo mediocrem habet altitudinem.*

SCHOLION 2.

918. *Quodsi aquæ copia non abundamus, consultum est, ut aqua in stagno colligatur inde per alveum in rotas deducenda, ne minimum ejus pereat. Quærendi etiam sunt fontes in vicinia siti & aquæ ex iis in stagnum derivandæ.*

SCHOLION 3.

919. *Cum ex superioribus constet, in conflictu corporum non modo habendam esse rationem massæ, sed etiam celeritatis, qua corpus in aliud quiescens impingens movetur (§. 532.); in molendinis aquarum vi agitandis consideranda est & sectio earum, & declivitas in præcipitium mutanda, unde celeritas ejus dependet. Quodsi declivitas fuerit insignis, plurimorum scilicet pedum, e. gr. 10 aut 12, & sectio aquæ exigua, rota construitur directa: ast si declivitas exigua & sectio ingens, rota utendum est retrograda.*

PROBLEMA 154.

920. *Aquam fluentem in rotam directam deducere.*

RESOLUTIO.

1. Ut declivitas in præcipitium mutari possit, aqua per alveum aut canalem ex ligno constructum deducatur ad rotam, & distantiæ 100 pedum concedatur declivitas $\frac{1}{4}$ unius pedis, ne aqua nimis segniter fluat.
2. Rota ratione decente constructa sub canali ita constituatur, ut aqua deorsum ruens per planum declive in capsulam ab axe secundam irruat, ipsa vero aquæ effusæ superficiem non attingat, ne motus retardetur.

COROLLARIUM 1.

921. Quodsi a declivitate integra subducatur pars, quæ aquæ concedenda, ut intra alveum suum fluere possit & in rotam

tam præcipitanda impetum acquirat, nec non ut aqua effusa defluat; diameter rotæ relinquitur.

COROLLARIUM 2.

922. Ut aqua omnis in palmulas incidat, eas canale latiores esse præstat.

PROBLEMA 155.

923. *Rotam directam construere.*

RESOLUTIO.

Tab. IX. Fig. 103. Totum artificium huc redit, ut situs palmularum determinetur: id quod sequentem in modum fieri solet.

1. Semidiametro rotæ (quæ est dimidia altitudo ejus) in scala modica sumta describatur circulus AIKA & semidiametro minore CE, quæ differat a priori quantitate latitudinis orbium AE, quibus palmulæ infiguntur, alius.
2. Recta AE dividatur in tres partes æquales, ita ut DE sit $\frac{1}{3}$ AE.
3. Ex centro C per D describatur circulus in tot partes æquales dividendus, quot palmulis instruenda est rota.
4. Applicata regula ad duo divisionis puncta H & F, tertio intermedio D relicto, ducatur recta HI &
5. in H excitetur perpendicularis HG.

Recta HI situm palmulæ unius; recta vero HG situm alterius determinat. Et eodem modo situs binarum quarumcunque aliarum palmularum determinatur.

PROBLEMA 156.

924. *Aquam ad rotam retrogradam deducere.*

RESOLUTIO.

1. Ne aqua superflua in rotam incidat & tota ejus declivitas, parte demta, quæ ipsi ut fluere possit concedenda, in præcipitium mutari queat; fossa effodiatur a flumine, ex quo aqua deducitur, tanto intervallo distans, quanto conceditur, tum ut aqua impetu in rotam facto promptius defluat, tum ne aqua intumescens ripis fossæ atque molendino facile damnum inferat.
2. Ne autem aqua intumescens agros vicinos inundet, riparum sufficiens esse debet altitudo. Consultum quoque est, ut fundus fossæ arena complanetur.
3. Quo aquæ sufficiens copia in fossam deducatur, per transversum fluminis excitandus est

agger,

Digitized by Google

agger, tantæ altitudinis, quanta permittitur ad aquam citra damnum alterius in motu suo retardandam.

4. In fine fossæ trabs horizontaliter sternatur, quæ *arboris molinariæ* fert nomen, ejus superficies cum fundo fossæ sit in eodem plano, ut aqua omnis in rotas præceps dari possit.

5. Super arbore molinaria perpendiculariter erigantur duæ trabeculæ tertia transversa jungendæ & canaliculis excavandæ, ut tabula nunc elevata, nunc depressa aqua a rota arceri, vel ad eandem demitti possit.

6. Ut igitur aqua tabula depressa impedita, quo minus ad rotam præcipitetur, aliorsum fluere possit, & ne aqua intumescens ripas fossæ egrediatur; alicubi fossæ molinariæ a latere jungenda est alia, ad arbitrium claudenda & aperienda, aquæ superfluæ transitum concessura.

Tab. IX. Fig. 204. 7. Alveus denique declivis in fine fossæ excitetur profunditatis AB, quanta est declivitas in præcipitium mutanda, utque in rotam directe impingat aqua, superficies per quam delabitur sternenda est juxta arcum DC ex centro rotæ E intervallo radio ejus paulo majore descriptum.

8. Quodsi fossæ molinariæ locus nullus concedatur, agger per transversum fluminis prope rotam construendus, ut aqua in motu retardata in alveum derivetur.

COROLLARIUM 1.

925. Si ea fuerit fossæ latitudo, ut duabus rotis juxta se invicem constituendis locus concedatur; duo quoque construendi sunt alvei cum tertio intermedio, vel a latere posito, per quem aqua superflua a molendino arcetur.

COROLLARIUM 2.

926. Quodsi declivitas aquæ in præcipitium mutanda ea fuerit, ut ejus dimidium, vel subtriplum &c rotæ agitandæ sufficiat; intra unum alveum duæ, vel tres &c. rotæ constituuntur, declivitate inter eas divisa, ita tamen ut præcipitium majus sit ante posteriores, quam anteriores rotas.

SCHOLION 1.

927. *Aggeres excitantur, palis in fundum fluminis adactis, quarum anteriores altiores, posteriores humiliores, differentia altitudinis primarum & ultimarum existente æquali altitudini, ad quam aquam in motu retardare licet. Spatia palis interjecta arena & sabulo replentur & superius stratum paratur vel ex asseribus, vel ex lapidibus. Fundus fluminis ante*

Digitized by Google

ante aggerem ad 6 vel 7 pedum distantiam complanatur, ne aqua vim ipsi inferre possit.

SCHOLION 2.

928 *Rotarum retrogradarum constructio nihil habet difficultatis: palmularum enim situs determinatur per radios ex centro rotæ eductos, sive intra orbes collocentur, sive in fronte constituantur. Altitudo illarum variat, quemadmodum & aquæ sectio. Minoris altitudo (quam Germani* ein Staber-Rad *appellant) est 12 pedum; majoris vero (quæ nobis* ein Panster-Rad *nuncupatur) ordinarie 16 pedum. In illa distantia palmularum digitorum 12 & 13; in hac 16 vel ad summum 19. Sectio aquæ in illa duorum pedum quadratorum; in hac pedum quinque. Quodsi palmulæ ad peripheriam rotæ sint perpendiculares, ultra eam eminentes (quales rotas* Straub-Räder *dicimus); altitudo rotæ & distantia palmularum variat pro diversa fundi declivitate & sectionis magnitudine.*

PROBLEMA 157.

Tab. IX. Fig. 105. 929. *Vi venti machinam movere.*

RESOLUTIO.

1. Axi insigantur virgæ AD & CB se mutuo ad angulos rectos in E secantes, quarum longitudo 32 pedum fieri solet
2. Ad has virgas ex scandulis construantur alæ figuram trapezii parallelarum basium habentes, quarum latitudo HI sit 6 circiter pedum, inferior FG per radios ex centro F ad I & H ductos determinatur.
3. Ita autem alæ aptandæ sunt, ut FG cum axe FL efficiat angulum 54°.
4. Denique ut alæ vento semper obverti possint; tota machina circa axem NK versatilis esse debet, ut ope vectis PQ huc illucque versari atque in omnes plagas dirigi queat.

ALITER.

Alii turriculam ex lapidibus vel lateribus construunt, ita ut tantummodo tectum cum axe alato versatile existat. Eum scilicet in finem Tab. IX. Fig. 106.

1. Turricula annulo ligneo cingitur & in eo canaliculus effoditur, in cujus fundo hinc inde trochleæ orichalceæ ita immittuntur, ut exiguum segmentum ultra eum promineat.
2. Intra canaliculum alius annulus reponitur, cui tectum superstructum.
3. In exteriori circa turriculam area desiguntur unci ferrei G &
4. Cum annulo mobili connectuntur trabes AB & FC, quarum alte-

altera priorem tecto firmius affigit.

5. Denique in D alligetur funis trabi AB in F circumducendus & altero sui extremo axi in peritrochio, aut suculæ alligandus.

Quodsi enim funis per uncum G ducatur & sucula convertatur, trabs AB ad illum adducitur, consequenter alæ in plagam ipsi oppositam diriguntur.

SCHOLION 1.

930. *Prior modus nostris in oris usitatus, posteriore in Batavia utuntur. Et posterior quidem priori præstat, quia alæ construi possunt majores, consequenter machinæ a vento agitari, ubi major resistentia superanda. Quodsi vero ad hanc vincendam minores sufficiunt, prior ideo antefertur, quia sumtibus longe minoribus exstruitur.*

SCHOLION 2.

931. *De machinis vi ignis movendis cogitarunt* Thomas Savery (i) Amontons (k), Dionysius Papinus (l) *& deinceps* alii (m): *sed valde vereor, ne inventa ipsorum praxi parum respondeant. Hactenus cum successu iisdem non usi sunt, nisi automata culinaria huc referre velis, quæ a fumo agitantur: in aliis casibus vis motrix nimis sumtuosa.*

SCHOLION GENERALE.

932. *Quæ hactenus de potentiarum ad machinas applicatione diximus, eum unice in finem proposuimus, ut in machinis inveniendis usui essent, quoniam earum structura externa, ex parte etiam interna inde pendet. Mathematica horum omnium tractatio & plus temporis requirit, quam huic operæ impendere conceditur, cum pleraque adhuc in desideratis habeantur, nec ad scopum nostrum apprime facere videtur. Neque operas manuarias hic exponere visum est, cum eædem ad Mathesin non spectent, sed ab eadem supponantur. Mathesis enim in dimetiendis iis occupatur, quæ sub mensuram cadunt; manuarias vero artes non docet: quamvis utile judicemus, ut a theoria ad praxin progressurus earum non sit ignarus, ne (de quo vulgo conqueruntur) in theoria pro veris habeantur, quæ non succedere in praxi experientia loquitur. Ne igitur in hunc scopulum impingas, nihil assumendum est tanquam arte parabile, quod arte parari posse non jam ante experientia cognoveris aut ex iis, quæ experientia constant, legitima consequentia deduxeris.*

CAPUT

(i) in Transact. Anglican. n. 252. p. 228.
(k) Mémoires de l'Academie Royale de Sciences Anno 1699. edit. Bát. p. 154.
(l) in Arte nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam.
(m) Stephani Switzer Introduction to' a general systeme of Hydrostaticks and Hydraulicks c. 28. 29. p. 325 & seqq.

Digitized by Google

CAPUT XVII.

DE RESISTENTIA IN MACHINIS SEU FRICTIONE.

DEFINITIO 94.

933. *Frictio* est resistentia superficiei, per quam inceditur.

SCHOLION.

934. *Ita perspicacissimus* Leibnitius (n) *frictionem definit, qui primus hanc materiam distincte evolvit.*

DEFINITIO 95.

935. *Corpus* dicitur *asperum*, in cujus superficie eminentiæ & cavitates alternantur

DEFINITIO 96.

936. *Superincessus radens* est, si punctum idem superincedentis lineam in superficie describit, per quam inceditur.

E. gr. Talis est superincessus parallelepipedi super plano protrusi.

DEFINITIO 97.

937. *Superincessus volvens* est, si punctum contactus continuo mutatur.

E. gr. Talis est rotæ in curru tam respectu axis, quam respectu soli.

DEFINITIO 98.

938. *Motus mixtus* est, si volutioni admiscetur motus radens elementaris seu instantaneus.

SCHOLION.

939. *Hunc modum distinctius explicat* Leibnitius (o); *sed nos eodem nunc non utemur.*

THEOREMA 203.

940. *Si superficies, per quam inceditur, & superficies corporis, quod per illam incedit, fuerint asperæ, frictio oritur.*

DEMONSTRATIO.

Cum enim in superficie corporis asperi eminentiæ & cavitates ubique alternentur (§. 935.); si tam superficies corporis incedentis, quam ea, per quam inceditur, asperæ fuerint, eminentiæ vel sunt intra cavitates deprimendæ, vel prorsus abradendæ, vel eminentiæ unius ex cavitatibus alterius attollendæ. Sed nihil eorum

(n) in Miscellaneis Berolinensibus p. 307.
(o) in Miscellan. Berolinens. p. 312. 313.

Digitized by Google

rum fieri poteſt ſine motu, nec motus produci ſine vi impreſſa. Vis igitur, qua corpus movetur, vel tota, vel ex parte his effectibus impendenda, adeoque motui corporis reſiſtitur (§. 20.), conſequenter frictio oritur (§. 933.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

941. Quo aſperiores itaque ſunt ſuperficies, eo reſiſtentia major.

SCHOLION 1.

942. *Aſperitas æſtimanda eſt non modo ex numero eminentiarum abradendarum, vel deprimendarum; verum & ex difficultate eas abradendi vel deprimendi, nec non ex mole cavitatum. Fieri namque poteſt, ut eminentiæ aliæ minori vi abradantur, vel deprimantur, aliæ autem nonniſi majori vincantur.*

COROLLARIUM 2.

943. Si corpora frictione continuata politiora fiunt, frictio minuitur.

SCHOLION 2.

944. *Id ipſum experientia clariſſime loquitur.*

COROLLARIUM 3.

945 Superficies adeo partium in machinis, quæ ſe mutuo tangunt, quantum fieri poteſt, poliri debent.

COROLLARIUM 4.

946. Quoniam tamen corpus nullum adeo poliri poteſt, ut omnis aſperitas tollatur, microſcopiis teſtibus; conſultum eſt (quod & dudum in praxi receptum) ut partes ſe mutuo tangentes oleo aut alio unguine illinantur.

THEOREMA 204.

947. *Dum pondus corporis incedentis ſuperficiem ejus ad ſuperficiem, per quam inceditur, apprimit; frictio augetur.*

DEMONSTRATIO.

Dum enim pondus corporis incedentis ſuperficiem ejus apprimit ad ſuperficiem, per quam inceditur; eminentiæ unius tanto profundius in cavitates alterius deſcendunt, adeoque majori vi inde rurſus attolluntur (§. 265.), vel etiam deprimuntur, aut abraduntur. Major itaque vis requiritur ad hæc obſtacula vincenda, quam ſi non adeo valide corpus incedens apprimeretur. Unde patet, quod appreſſio ex pondere ſuperincedentis augeat reſiſtentiam ſuperficiei, per quam inceditur (§. 20.), hoc eſt, frictio augetur (§. 933.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

948. Creſcente adeo pondere corporis incedentis aut inſiſtentis, frictio creſcit.

SCHO-

Digitized by Google

SCHOLION.

949. *Hinc libra exiguis ponderibus onusta exigua vi ab æquilibrio dimovetur; pluribus autem onusta, majori vix dimovetur.*

THEOREMA 205.

950. *Si linea directionis corporis incedentis ad superficiem, per quam incedit, fuerit obliqua; frictio intenditur.*

DEMONSTRATIO.

Si enim linea directionis corporis incedentis ad superficiem, per quam inceditur, obliqua; vis, qua movetur, versus superficiem, per quam inceditur, nititur, adeoque perinde est, ac si superficies incedentis a pondere ad eam apprimeretur. Sed appressio ex pondere incedentis frictionem intendit (§ 947.). Ergo eadem intenditur, si linea directionis incedentis ad superficiem, per quam inceditur, fuerit obliqua. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

951. Quoniam ictus perpendicularis est ad obliquum ut sinus totus ad sinum anguli incidentiæ (§. 552.), sinus autem anguli majoris major est, minoris contra minor (*§. 2. Trigon.*); nisus corporis superincedentis in superficiem, per quam inceditur, consequenter frictio major est, quo propius ad perpendiculum accedit linea directionis corporis incedentis.

SCHOLION.

952. *Hæc denuo experientiæ valde consona sunt & præcipue in dentibus rotarum observantur, ut sæpissime hac de causa prorsus frangantur.*

COROLLARIUM 2.

953 Tollitur adeo hæc frictio, si linea directionis corporis incedentis fuerit parallela superficiei, per quam inceditur: tum enim nisus superincedentis in eam nullus est.

THEOREMA 205.

954. *Si superincessus volvens, longe minor est frictio, quam si radens extiterit.*

DEMONSTRATIO.

Sit regula dentata AB & super ea incedat rota DE, cujus dentes sint ad peripheriam normales. Quodsi superincessus fuerit radens, dens F, qui regulam tangit, lineam rectam in superficie regulæ describere debet (§. 936.). Cum adeo ipsi resistat dens regulæ H, progredi omnino nequit, nisi hic frangatur, aut deprimatur, vel dens rotæ F curvetur aut prorsus abradatur. Idem ergo cum contingat, si corporis cujuscunque alterius asperi super superficie aspera incedentis superincessus radens fuerit; frictio omnis locum habet, quæ ab asperitate superficiei oriri potest. Enimvero si rota

Tab. IX. Fig. 107.

ED super regula provolvatur, tum dens regulæ H incessui ejus non amplius resistit, nisi quatenus ex cavitate F supra eminentiam dentis H attollendus. Idem cum valeat, si corpus quodcunque asperum super aspera superficie volvitur, frictio minor est, si superincessus volvens, quam si radens extiterit. *Q. e. d.*

COROLLARIUM. 1.

955. Ne igitur in machinis frictio magnam vis motricis partem absumat, cum cura dispiciendum est, ut, quantum fieri potest, nulla pars machinæ alteram radat, quin potius una super altera volvatur.

COROLLARIUM 2.

956. Hinc consultum est, ut axiculi cylindrorum, non (quod vulgo fieri solet (matrici concavæ, sed rotulis A, B, C, D circa axiculos versatilibus, imponantur.

SCHOLION 1.

957. *Suasit hoc dudum* Paulus Casatus (p) *& experientia confirmat, quantum virium hoc artificio lucremur. Quodsi metuas, ne axiculus cylindri satis tuto duabus rotulis* A *&* B *incumbat, tertiam addere licet.*

SCHOLION 2.

958 *Hinc etiam, si trochlea circa centrum mobilis, tractioni minus resistitur, quam si eadem fixa foret. Eadem est ratio, cur rotæ curruum circa axem versatiles sint.*

SCHOLION 3.

959. *Patet quoque ratio; cur trabe difficillime trahantur in plateis lapidibus stratis; facillime autem, si nive via obtegatur, ut planitiem probe politam exhibeat.*

SCHOLION 4.

960. *Ex eodem fonte* Olaus Roemerus, *cum Parisiis commoraretur, quamvis non sine subsidio Geometriæ sublimioris, deduxit figuram dentium in rotis epicycloidalem esse debere: id quod post eum quoque ostendit* Philippus de la Hire (q); *sed, quod dolendum, hactenus in praxin recepta non est.*

COROLLARIUM 3.

961. Quoniam rotulæ circa axiculum fixum versatiles volvuntur, dum in superficie corporis alterius incedunt; earum ope superincessus radens in volventem transmutari potest, quotiescunque datur.

SCHOLION. 5.

962 *Ita in machinis, quæ serrarum reciprocatione ligna secant, rectanguli lignei, cui serræ inferuntur, latera istius modi rotulis instrui deberent. Minuta enim frictione, plures serræ una secare possunt. Similiter brachia pistillorum attollen-* Tab. X. Fig. 109.

(p) Mechanicorum lib. 2. c. 1. p. 130.
(q) Memoires de Mathemat. & de Physique p. 51. & seqq.

Digitized by Google

tollendorum CD *rotulis instruere juvat, ut super pinnulis curvis* EF *axis fine frictione incedant. Pinnulis figuram epicycloidicam assignat* Cl. de la Hire (r).

COROLLARIUM 4.

Tab. VII. Fig. 85. 86. 963. Et quia axes curvati superincessum plane tollunt (§. 884.) ; iis rotarum loco utendum, quotiescunque datur.

SCHOLION 6.

964. *Equidem nec hic cessat frictio in* E & G. *Enimvero ea perexigua est, si comparetur cum frictione, qua ex superincessu rotarum oriri solet.*

SCHOLION 7.

965 *Equidem* Amonton *regulam universalem dedit computandi vim ad frictionem in dato quolibet casu superandam requisitam* (s); *sed cum omnem frictionem a sola appressione ex pondere superincedentis derivet, ex antecedentibus satis apparet, quod proposito satisfacere nequeat.*

CAPUT XVIII.

DE MACHINIS COMPOSITIS.

DEFINITIO 99.

966. Machina *composita* est, quæ ex pluribus simplicibus tanquam partibus constat.

SCHOLION.

967. *Machinarum compositarum nullus est numerus. Construuntur autem tum ad onera ingentia attollenda, tum ad motus varios producendos, qui in usum vitæ humanæ redundant. Omnia nimirum hominum opera a machinis perfici possunt, ad quæ idem semper motus vel continuo, vel juxta certam periodum repetitur. Ita ad frumentum in farinam conterendum rotatione continua saxi molaris opus est: unde hæc opera machinis demandatur. Similiter ad contusionem granorum, pistillorum elevatione continuo iteranda opus est: hinc a machinis contusio ista perficitur. Ut arbor prostrata in asseres dissecetur, continua serrarum reciprocatione opus est. Quare denuo machinarum vires ad hunc usum transferuntur. Nostrum equidem non est, theatrum quoddam machinarum in præsenti aperire; sed ut compositionis earundem quandam ideam animo comprehendant tyrones, unum saltem alterumque exemplum in medium afferemus, additis regulis quibusdam generalibus, quibus de machinis inveniendis solliciti juvantur.*

PRO-

(r) loc. cit. p. 72. & seqq.
(s) Memoires de l' Academie Royale des Sciences A. 1699. p. 260. & seqq. edit. Bat.

Digitized by Google

PROBLEMA 154.

968. *Dato opere perficiendo, machinam componere.*

RESOLUTIO.

1. Ante omnia opus eſt, ut operis perficiendi notionem diſtinctam &, quantum licet, adæquatam habeamus: ad quam quomodo perveniatur, ex commentatione de methodo §. 8 & 10 colligitur, & alibi diſtinctius explicavi (t). Scilicet ſingula, quæ in opere perficiendo ulla ratione diſtingui poſſunt, tum ſigillatim expendenda, tum inter ſe conferenda.

2. Ex hac operis perficiendi idea colligendum, quali motu opus ſit ad id præſtandum, quod requiritur: qui eſt effectus a machina producendus.

3. Ex eadem quoque conſtabit quantitas virium ad reſiſtentiam in motu ſuperandam requiſitarum: ubi

4. inprimis conſideranda eſt frictio ex ſuperinceſſu mobilis oriunda & de remediis mechanicis capite ſuperiori expoſitis deliberandum.

5. Antequam vero conſilium ineatur, quibusnam machinis ſimplicibus combinatis motus deſideratus produci queat; de potentia machinam agitatura cogitandum eſt, quoniam pro ejus conditione variat interna quoque machinæ ſtructura. Quam primum igitur certus fueris de potentia ad machinam applicanda: externa ejus ſtructura ſtatim conſtabit ex capite decimo ſexto.

6. Unde quantitate virium, quæ ad motum ultimum producendum requiruntur, una expenſa, vi capitis quinti non difficulter determinantur machinæ ſimplices in compoſita combinandæ.

E. gr. Sit conſtruenda machina, qua onus ingens O in altum attolli poſſit & quæ commode de loco in locum transferri queat. Cum onus attollendum ſit corpus grave, ſtatim apparet, lineam directionis eſſe ad horizontem perpendicularem. Talis ergo conſtruenda eſt machina, quæ pondus ſurſum trahat ſecundum lineam directionis ad horizontem perpendicularem. Quoniam vero pondus oneris non determinatur, ſed ſaltem ingens ſupponitur; machinam conſtruere ſuffi- Tab. X. Fig. 110.

(t) in Philoſ. ration. ſeu Logica §. 678.

Digitized by Google

sufficit, qua homo pondus aliquod viribus suis longe superius elevare possit, tempore tamen non nimis longo. Et quia machina compendiosa esse debet, ut commode huc illucque transferri possit; moveri optime poterit versando, adeoque axe incurvato ABC instruenda (§ 880.). Enimvero ut pondus ingens moveri possit, axis curvatus solus non sufficit, sed cum rota dentata F axi horizontali GH infixa combinandus. Denique ut funis pondus sursum trahens circa cylindrum inferiore loco constitutum circumvolvi queat, supra trochleis I & K ad axem GH adducendus. Constat ergo machina ex axe GH cum rota stellata F & axe dentato LC atque incurvato CBA duabusque trochleis I & K. Trochleæ ad viriumincrementum nil conferunt, sed sola rota F & axis incurvatus CBA. Est nimirum seposita frictione potentia sustentans ad pondus in ratione composita radii axis dentati LC ad BC & radii axis GH ad semidiametrum rotæ F (§. 803.).

PROBLEMA 159.

969. *Machinam construere, qua ingens admodum pondus ad altitudinem mediocrem attolli potest.*

RESOLUTIO.

Tab. I. X. Fig. III. a.

1. Erigatur vectis AB, cujus centrum C, & in D infigatur uncus, cui onus attollendum G alligari possit.

(*Wolfii Math. Tom. 2.*)

2. Alteri vectis extremo B affigatur annulus E, qui cochleæ fœminæ F seu matrici afferruminetur.
3. Matrici inseratur cochlea HI, quæ ergatæ IL circa axem suum in L mobili firmiter insistat.

Quodsi enim mediantibus scytalis M, N, O, P, cylindrus IL cum cochlea HI circumagitur; matrix EF descendit & vectem AB deprimit, consequenter pondus G attollit.

Quod vero exigua admodum vi pondus admodum ingens attolli possit, patet ex theor. 178. (§. 705.) & theor. 198. (§. 847.). Est nimirum potentia ad pondus in ratione composita AC ad CB, si AB fuerit horizontalis, & distantiæ duarum helicum in cochlea ad peripheriam scytala descriptam. Sit e. gr. distantia helicum 3‴, longitudo scytalæ 3′, erit peripheria, quæ eadem describitur, 942‴, adeoque potentia in N est ad resistentiam in E ut 3 ad 942, hoc est, ut 1 ad 314. Sit jam AC : CB = 1 : 3; erit ergo resistentia in E $\frac{1}{3}$ ponderis G, consequenter potentia ad scytalam M applicata $\frac{1}{942}$ ponderis. Quodsi singulis scytalis singulæ potentiæ appli-

centur; erit una earundem $\frac{1}{3738}$ ponderis.

COROLLARIUM.

970 Si cochlea cum ergata remota funis E F alligetur in B, pondus G similiter cum virium compendio attolletur, quamvis multo minore (§. 765.).

SCHOLION.

971. *Machina posteriore utuntur ad onera ex navi una in alteram contiguam transponenda.*

PROBLEMA 160.

972. *Molam acuminariam construere, hoc est, machinam, qua instrumenta ferrea aut chalybea acuuntur.*

RESOLUTIO.

Tab. X. Fig. 111. b.

1. Cotes aquariæ A & B axi CD curriculo F instructo infigantur ad acuendum.
2. Axi alteri EG infigantur duo orbes lignei H & I, super quorum primo H arena politura inchoatur, super altero vero I smyride continuatur. Addantur duo alii minores K & L corio superinducti, super quibus smyridis pulvere subtiliori politura perficitur.
3. Utrique axi DC & GE infigatur etiam rotula M in peripheria crena instructa, ut loro circa utriusque peripheriam circumducto una alteram movere possit.
4. Ad curriculum F circumagendum adhibeatur rota stellata N, quæ communem cum rota molari PQ, e. gr. retrograda, palmulas in fronte gerente, axem habet, ac pro diverso aquæ impetu pluribus vel paucioribus dentibus instruitur, ut motus cotium sit satis celer.
5. Denique cum cotes continuo madidæ esse debeant; ad rotam molarem applicanda sunt duo haustra, quæ aquam in canalem ST effundunt per declive ex V & Z in cotes delabentem.

SCHOLION.

973. *Solent quoque molæ unice ad poliendum construi, tumque orbes axi* GE *infixi aptantur ad primarium* DC, *ipsi vero* GE *alii minores inseruntur.*

COROLLARIUM.

974. Si tam aquæ copia, quam declivitas sufficiens fuerit; cotes axi rotæ molaris infigere licet.

PROBLEMA 161.

975. *Molam frumentariam ab aqua agitandam construere.* Tab. X. Fig. 112.

RESOLUTIO.

1. Construatur rota molaris sive dire-

Digitized by

directa, sive retrograda, prout casus tulerit, nunc major, nunc minor, prout major vel minor aquæ copia & declivitas fuerit. Sit e. gr. rota retrograda AB 18 pedum eaque 33 palmulis instructa.

2. Ejusdem axi infigatur rota DE, cujus diameter illius subdupla, vel etiam major, pro diversa aquarum moventium vi, & quæ dentes, in nostro casu numero 48, in plano gerat.

3. Per curriculum FI 6, 7, 8 immo 9 bacillis instruendum, pro diversa celeritate, qua rota molaris movetur, virga transeat ferrea, cujus capiti pyramidem fere truncatam figura sua referenti incumbat *meta* (seu lapis molaris superior) *catinum* (seu lapidem inferiorem) fixum 4 fere digitis circumcirca superans atque in medio excavatus, ut frumentum inter lapides demitti & comminutum ad circumferentiam propelli possit.

4. Ex scala suspendatur infundibulum *pq* mediante axe in peritrochio *st* pro arbitrio attollendum ac deprimendum. Inde

5. bacillus propendeat in foramen metæ annulo ferreo cum unco M munitum, quo illum propellens infundibulum agitet, ut frumentum in lapidem molarem demittatur.

6. Infundibulo fere insistat capsa H pyramidem truncatam referens & tam superius, quam inferius aperta, cui frumentum indatur.

7. Lapides cingantur cista cylindrica, spatio inter eam & metam nonnisi duorum digitorum relicto.

8. Arbor farinaria NO prope contactum metæ atque catini foramine pertundatur, ut per id frumentum contritum in sacculum tremulum ex peculiari linteo (nostrates Beuteltuch appellant) confectum devolvatur & farina furfure separetur.

9. Sacci, cujus latera loris assuta, extremis vero P & Q annuli ferrei insuti sunt, longitudo in tres partes æquales dividatur & in fine partis tertiæ assuantur annuli coriacei *a* & *b*, qui infigantur bacillis ad cylindrum *cd* circa axem mobilem affixis.

10. Eidem cylindro *cd* affigatur forcipula *ef*, intra quam ope clavi lignei firmetur regula *hf* alteri *ik* cylindrulo *lm* circa

 axem

axem suum versatili infixæ in *i* incumbens.

11. Curriculo FI sub angulo obliquo infigantur tres bacilli æqualiter a se invicem distantes, qui regulam *ki* impellentes alteram *bf* protrudunt & sic saccum attollunt, mox iterum relapsurum, regula *ik* in situm pristinum recidente.

Tab. 12. XI. Fig. 113. Quodsi aquæ impetus tantus fuerit, ut molam duplicem circumagere possit; axi rotæ molaris infigitur rota stellata LM, quæ duas rotas radiatas NO ab utroque latere adjacentes impellit, quarum saltem unam ab uno latere in schemate exprimere libuit: reliqua omnia sunt ut ante. Ratio diametri rotæ LM ad diametrum rotæ molaris AB sit ut 1 ad 2, ad diametrum vero radiatæ ut 3 ad 2: quamvis eidem stricte inhærendum non sit, si aliæ circumstantiæ aliam suadeant.

SCHOLION 11.

976. *Rotarum dimensiones dentiumque numeri variant pro varietate impetus aquæ in rotam molarem impingentis, quæ partim ab ejus sectione, partim a declivitate, per quam ad illam delabitur, pendet. Constat vero ex superioribus (§. 792.), rotas fieri debere majores, ubi minor fuerit aquæ vis; minores vero, ubi hæc major.* Bœcklerus (u) *diametrum rotæ vel solo impetu fluminis sine declivitate in præcipitium mutata, vel ab exigua copia aquæ per declive delapsa agitandæ fieri præcipit 48 pedum, numerum palmularum 86; diametrum rotæ stellatæ* LM *18 pedum, numerum dentium 180, numerum bacillorum in rota* DE 60. Casatus (x) *annotat, in Pado communiter longitudinem rotæ molaris* AB *esse cubitorum 10, diametrum totam cubitorum 6, inferiorem rotam* DE *diametrum habere cubitorum* $5\frac{1}{2}$, *dentes 108 plano infixos & curriculum* FI *in fusos 9 distingui; lapidem molarem in crassitudine numerare uncias 6 aut 7, in diametro cubitos* $2\frac{1}{2}$. Franciscus Philippus Florinus (y) *rotæ retrogradæ ab aqua rivuli 4 vel 5 pedum declivitatis agitandæ diametrum constituit 18 pedum, numerum palmularum 30 vel 36, latitudinem palmularum 10 vel 14 digitorum, altitudinem unius pedis. Rotæ dentatæ* DE *dentes assignat 72, curriculo bacillos 6, 8 vel 9, prout rota externa vel tardius, vel celerius movetur. In fluvio Halam Saxonum alluente rotarum retrogradarum molam duplicem circumagentium altitudo non excedit 16 pedes.* (Tab. X. Fig. 113.)

COROLLARIUM.

977. Quodsi situs rotæ verticalis LM mute- (Tab. XI. Fig. 113.)

(u) In der Hauß- und Feld-Schule part. 3. Class. 6. p. 500 & 501.
(x) Mechan. lib. 5. c. 7. p. 560.
(y) Im klugen Hauß-Vater lib. 2. c. 42. f. 308. & seqq.

mutetur in horizontalem & dentes in plano infigantur; rotæ vero molari substituatur vectis veluti in ergata, reliquis omnibus manentibus ut ante: molendinum habebimus manuarium, a duobus hominibus in loco superiore deambulantibus commode agitandum. Est vero longitudo vectis ex una parte 8 pedum, ex altera totidem pedum, rotæ dentatæ LM diameter $8\frac{1}{2}$ pedum, alterius DE 10 pedum & 2 digitorum, numerus dentium in priore 72, in posteriore 40, numerus bacillorum in curriculo 6.

SCHOLION 2.

978. *Multis adhuc modis aliis molæ manuariæ construi possunt. Eminet vero inter eas quoddam genus, quod vi exigua moveri potest, superincessu rotarum penitus sublato. Id igitur ut describatur, e re nostra judicamus.*

PROBLEMA 162.

979. *Molam manuariam construere.*

RESOLUTIO.

Tab. XI. Fig. 84. 1. Construantur duæ rotæ AB & CD, quarum diameter 5 vel 6 pedum, & inferius ad conservandum impetum plumbo infuso oneretur.

2. Per centrum utriusque defigatur axis incurvatus HG per vectes IK & IL convertendus, ut supra docuimus (§. 884.).

3. In rotæ superioris AB ambitu canaliculus excavatur, ut funis ceratus commode circumduci queat: qui idem

4. Circumducendus circa peripheriam alterius rotulæ minoris MN infixi virgæ ferreæ PQ, cui eidem

5. infigatur crux ex brachiis ferreis constans RSTV, quibus singulis affixum est pondus plumbeum, ad impetum conservandum.

6. Reliqua fiant, ut in problemate præcedente (§. 975.).

SCHOLION.

980. *Axiculi rotarum ferrei sustentaculo orichalceo incumbere debent, quod & affrictum minuit, & ad durabilitatem conducit. In omni autem molarum genere sustentaculum virgæ ferreæ, cui lapis molaris incumbit, ita construendum, ut ad arbitrium attolli ac deprimi possit, prout usus postulaverit. Major enim lapidum distantia requirituur, si grana integra conterenda, quam si jam contrita in farinam convertenda.*

PROBLEMA 163.

981. *Molam jumentariam construere.* Tab. VII. Fig. 82.

RESOLUTIO.

1. Erigatur cylindrus verticalis DN, cujus diameter 14 digitorum cum temone GH quatuor virgis ferreis ad rotam firmanda

do. Immo temo geminari potest.

2. Circa eundem cylindrum construatur rota stellata IK, cujus diameter $14\frac{1}{2}$ pedum, 16 lignis transversis (quale IL) quorum latitudo 7, crassities 2 digitorum, connectenda, & adhuc aliis 16 (quale IO) quorum longitudo 7 pedum, latitudo 4 & crassities $8\frac{1}{2}$ digitorum, firmanda.

3. Dentes ex ligno quercino probe sicco parati ita insigendi, ut axes eorundem distent $4\frac{1}{2}$ digitis.

4. Curriculi P diameter 22 digitorum & numerus fusorum seu bacillorum 11, quorum longitudo 18, diameter duorum digitorum.

5. Reliqua fiant ut in problem. 161. (§. 975.).

ALITER.

Tab. XI. Fig. 113. Quodsi rota adeo ingens non commoda visa fuerit, construere licet minorem, cujus diameter nonnisi 7 pedum, $1\frac{1}{3}$ digitorum, dentes 64 in plano gerentem. Hæc rota ut superius (§. 975.) circumagit aliam rotam radiatam NO, cujus diameter $21\frac{1}{3}$ digitorum, numerus bacillorum 16. Cum eodem eidem axi insigitur rota DE, cujus diameter 6 pedum, dentes 72 in plano gerens & curriculum FE 6 fusis instructum circumagens. In rota priore crassities dentis 2, in posteriore $1\frac{1}{2}$ digitorum. Longitudo temonis 5 pedum.

PROBLEMA 164.

982. *Molam alatam construere.*

RESOLUTIO.

Structuram externam docuimus supra (§ 929.). Interna constat ex rota dentes in plano habente atque curriculo, ut in molis frumentariis, quæ ab aqua moventur (§. 975.). Numerus dentium in rota dentata est 72, vel 80: numerus fusorum in curriculo 9 vel 8. Quælibet ala est pedum 30 vel 32.

PROBLEMA 165.

983. *Molam oleariam construere.*

RESOLUTIO.

Mola olearia ita construenda, ut tum materiam contundere, tum ex contusa atque tosta oleum exprimere valeat. Utrumque igitur ut præstetur, Tab. XI. Fig. 115.

1. Axi rotæ molaris insigatur rota stellata AB, quæ circumagat
2. rotam radiatam AE axi EF insertam, cui hinc inde pinnulæ

G

G infiguntur piſtilla HI attollentes.

3. Piſtillorum baſes itemque fundi vaſorum K in trunco LM excavatorum lamina ferrea obducantur, ut ſemina lini, rapicia, amygdalæ, nuces, nuclei prunorum, vel quæcunque detur materia, probe contundantur, piſtillis proprio pondere relabentibus.

4. In parallelepipedo LM excaventur duo minora, quorum baſis inferior ſit perforata, ut oleum expreſſum inde in vaſa ſubjecta deſtillare poſſit. Intra ea reponitur materia contuſa & in aheno ſuper igne toſta, panno ex pilis contexto involuta atque inter duas tabulas P & Q, in quarum una hemiſphærium cavum, in altera convexum, comprehenſa. A parte poſtica intruditur cuneus acie ſua prominens in H & ab antica infigitur alius N.

5. Ut cuneus alter N vi adigi ſicque oleum exprimi poſſit, malleus P cum vecte PQ cylindro RS circa axem ſuum mobili affigatur, mediante ligno transverſo TV ad cuneum dirigendus.

6. Ad eundem cylindrum RS in oppoſito latere aptetur forceps *ab*, intra quem continetur contus *bd* cum pinnula *ef*, quæ a pinnula cylindro EF infixa deprimitur & malleum P attollit proprio pondere cum impetu in cuneum N mox relabentem.

COROLLARIUM I.

984. Quoniam rota radiata AE cum ſtellata AB ideo adhibentur, ut cylindrus EF celerius circumagatur; ſi aquæ ſufficiens copia atque declivitas, vel numerus piſtillorum exiguus fuerit; ipſi cylindro EF rota molaris ab aqua agitanda infigi poteſt. Et tales ſunt molæ metallicæ, quæ malleis ferreis 57 librarum piſtillis 12 pedum affixis materiam metallicam crudam comminuunt.

COROLLARIUM 2.

985. Si vis aquæ ſufficiens adfuerit, duo cylindri pinnulis ſuis piſtilla elevantes a rota ſtellata circumagi ſolent.

COROLLARIUM 3.

986. Et quia perinde eſt, quæcunque materia contundatur; eadem manet ſtructura, ſi mola conſtruatur, ad materiam pulveris pyrii contundendam. Sint e. gr. piſtilla 16 in duas ſeries diſtributa: rotæ molaris ab aqua convertendæ altitudo erit 18 pedum, numerus palmularum, quarum latitudo 2 pedum, altitudo unius, 48; diameter rotæ AB 7′ 3″, numerus dentium 60; longitudo cylindri EF 15′ 10″

10'', diameter 14''; diameter rotæ radiatæ 3' 2'', numerus fusorum 24; integra pistilli altitudo 9' 2'', crassities & latitudo 4''. Sed si rota externa calcando movetur (§. 886.), diameter ejus esse potest 16 pedum, rotæ stellatæ AB $5\frac{1}{2}$, numerus dentium 60, numerus fusorum in rota radiata 20; longitudo cylindri EF 16 pedum, numerus pistillorum 9.

SCHOLION 1.

Tab. XI. Fig. 116. 987. *Structura molarum chartariarum eadem est, quam in corollario primo (§. 984.) exposuimus, nisi quod tudicula* AB *ferro obducta in* B *vecti homodromo* DC *circa baculum* EF *mobilem ad angulos rectos infigantur, a pinnulis axi rotæ molaris infixis in* C *impellendo, & per canalem vel ope antliæ, vel ope haustrorum ad rotam molarem applicatorum aqua continuo in linamenta contundenda deduci debeat.*

SCHOLION 2.

988. *Cum structura molæ oleariæ prorsus convenit structura trituratoriæ, quæ anno 1700. Erzæ in ditione Electorali Brunswicensi inventa & cum insigni fructu ad frumenta straminibus ejicienda adhibetur, nisi quod peculiari artificio opus sit ad flagella dextre applicanda & rota verticularis addatur. Describitur in Miscellaneis Berolinensibus* (z).

PROBLEMA 166.

989. *Machinam construere, quæ materiam pulveris pyrii sine pistillis conterat.*

RESOLUTIO.

1. Rota dentata AB communem axem cum aquaria habens impellat radiatam CD, ad cujus axem Tab. XI. Fig. 117.

2. Aptentur duo cylindri plumbei lamina orichalcea obducti aut (quod melius judicatur) marmorei DE, quorum diameter 6, 7 vel 8 pedum, crassities 6 digitorum.

3. Cylindri, axe HI circumacto, vel in vase cylindrico orichalceo, si plumbei fuerint; vel super saxo marmoreo ad profunditatem duorum digitorum excavato, si marmorei fuerint, incedant.

SCHOLION 1.

990. *Ideo ex orichalco aut potius e marmore machina construitur, quia ex hac materia per frictionem nullæ scintillulæ eliciuntur, unde non sine ingenti damno in aliis molendinis materia pulveris pyrii ignem concipere solet.*

SCHOLION. 2.

991. *Cæterum cylindris verticaliter erectis utuntur etiam ad materias alias conterendas.*

PRO-

(z) pag. 325.

Digitized by Google

PROBLEMA 167.

Tab. XII. Fig. 118.

992. *Molam ſerrariam conſtruere.*

RESOLUTIO.

In molis ſerrariis duplex motus conſiderandus, quorum altero ſerra reciprocatur, altero vero lignum ad ſerram continuo promovetur. Ad motum ſerrarum producendum

1. Axi rotæ aquariæ, cujus diameter 17 vel 18 pedum, infigatur rota ſtellata AB, cujus diameter ſine dentibus 8 pedum, numerus dentium 72. Hæc
2. Incedat ſuper rota radiata CD 12 vel 8 (pro diverſa vi aquarum) bacillis inſtructa & communem axem habente cum rota verticulari EF, cujus diameter 4 vel 5 pedum.
3. Alteri hujus axis extremo infigatur axis ferreus curvatus G, eique mediante bacillo GH jungatur tendicula lignea IK cum ſerra HL, intra duas pilas ita conſtricta, ut nonniſi ſurſum protrudi ac deorſum trahi poſſit.
4. Ad motum ligni efficiendum conſtruendus eſt currus *abcd*, cujus longitudo longitudini ligni ſecandi proportionata, e. gr. 18 pedibus major, latus vero alterum dentibus inſtructum.
5. Ut ergo lignum uncis ferreis ad currum firmatum ad ſerram continuo promoveatur, axi *gh* infigatur baculus *ik*, cujus alterum extremum *k* inditum eſt annulo ad tendiculam IK firmato: & prope alterum extremum forceps *m* contineat furcam *ml* usque ad dentes rotæ ſerratæ *ln* extenſam, cujus diameter duorum pedum.
6. Porro axi rotæ ſerratæ ferreæ infigenda eſt alia radiata *pq* 6 bacillis inſtructa, qua circumagitur rota ſtellata *rſ* dentes 36 & axem communem cum alia radiata *tv* habens, quæ 6 bacillis inſtructa currum propellit.

SCHOLION.

993. *Dantur & adhuc alii modi currum propellendi, quos repræſentat* Bœcklerus (a). *Nos eum deſcripſimus, quo ordinarie utuntur. Cæterum idem* Bœcklerus (b) *molam ſerrariam manuariam accurate delineat.*

PROBLEMA 168.

994. *Horologium oſcillatorium Hugenianum conſtruere.* Tab. XII. Fig. 119.

RESO-

(a) in Theatro Machinarum f. 60 & ſeqq.

(b) in der Hauß- und Feld-Schule Tom. 1. claſſ. 6. p. 512. & 513.

Digitized by Google

RESOLUTIO.

1. Fiant laminæ AA & BB semipedali longitudine, pollices duos & semis latæ, quibus rotarum præcipuarum axes inserantur.

2. Rota infima CC 80 dentibus incidatur in convexo & eidem axi affigatur orbiculus aculeatus DD, ex quo pondera suspendantur.

3. Rota CC impellat tympanum E dentium octo & una rotam stellatam F dentium 48.

4. Rota F circumagat tympanum G dentium 8 & una rotam coronariam H dentes 48 in plano habentem.

5. Hæc agitet tympanum I dentium 24 & rotam serratam K dentium 15.

6. Supra eam collocetur axis pinnatus LL eique affigatur clavula S, ima sui parte reflexa ac foramine oblongo penduli intra duas laminas cycloidicas duplici filo suspensi virgam ferream cum appenso pondere plumbeo X complexa.

7. A lamina AA quarta digiti parte distet alia YY, in qua describantur circuli horarii ex centro axis rotæ infimæ CC. Interior in 12 horas; exterior in 60 scrupula prima dividatur.

8. Axi rotæ C aptetur rota *bb* tubulo ultra laminam YY continuato cohærens, ita ut una cum axe circumagatur, sine eodem tamen converti possit, ubi e re fuerit.

9. In tubuli prædicti extremo *e* applicetur index horæ spatio circuitum absoluturus atque ita minuta horaria indicaturus.

10. Rota *bb* impellat aliam *gg* 30 itidem dentium, cujus axi cohæreat tympanum sex dentium *d:* quod tandem

11. Convertat rotam dentium 72 indicem horarium minutario breviorem circumferentem.

12. Axi rotæ H affigatur orbis *ll* & in eo circulus in 60 partes æquales divisus describatur, qui per incisum in lamina YY foramen minuta secunda monstret.

13. Longitudinem penduli, ut jam supra notatum est, *Hugenius* (c) inventor experimentis factis deprehendit esse partium trium, quarum una est ad pedem Parisinum ut 881 ad 864 (§. 470.).

14. pondus perpendiculi X trilibre esse debet & ne occursu aëris motus impediatur, optima ejus forma

(c) in Horologio oscillatorio f. 7.

forma est lenticularis. Ponderis *b*, quo horologium movetur, magnitudo certo definiri nequit, sed per experientiam determinanda. *Hugenius* pondere 6 librarum usus est, diametro orbiculi D unius digiti existente, longitudine autem penduli ea, quam diximus.

Tab. XII. Fig. 120. 15. Cæterum ne motus horologii interrumpatur, dum pondus sursum trahitur; peculiari hoc artificio suspendendum, quod a laudato *Hugenio* repertum. Funis scilicet in se rediens orbiculum D amplectatur & inde descendens altera sui parte trochleam *c* subeat, cui pondus *b* appensum. Hinc super orbiculum D extrinsecus horologio affixum ascendit iterumque ad trochleam alteram F descendit, cui pondus G appensum majus *b* retinens, ne aliter quam orbiculo D revoluto descendat. Hic autem serratis dentibus ita aptatur, ut tracto fune E volvatur, in partem vero contrariam revolvi nequeat.

SCHOLION I.

995. *Horologia hæc oscillatoria Hugeniana adeo accurate construi possunt, ut tempus æquale accuratius dimetiantur quam motus solis diurnus inæqualis, ceu in chronologicis ostendetur. Unde in Astronomia, ubi accurata temporis mensura requiritur, ingens eorum est usus. Sane Vir* Cl. Philippus de la Hire (d) *testatur, se sæpius expertum esse, quod intra octiduum a medio solis motu vel minuto secundo non aberrent.*

SCHOLION 2.

996. *Cum pleræque machinæ ex ligno construi soleant, non incongruum videtur epilogi loco rotarum dentatarum lignearum constructionem edocere.*

PROBLEMA 169.

997. *Rotas dentatas & radiatas ligneas construere.* Tab. IX. Fig. 121. n. 1. 2. 3.

RESOLUTIO.

1. Orbes rotarum, quibus dentes insiguntur, ex diversis partibus componuntur. Si dentes in plano insiguntur, aliæ partes sunt segmenta circuli A, aliæ segmenta annulorum circularium B. Posteriores ita superimponuntur prioribus, ut juncturæ D partium A medio partium B & contra juncturæ C partium B medio partium A respondeant. Foraminibus perforatæ clavis ligneis junguntur. Quot vero partes in uno plano habuerit orbis, tot lignis transversis FF firmantur. Quodsi dentes in convexo insigendi; partes in utroque

(d) in epistola dedicatoria Tabulis Astronomicis præmissa.

que plano sunt segmenta annularia B.

2. Peripheria circuli, in qua centra dentium insigendorum existunt, in tot partes æquales divisa, quot dentes rota habere debet, intervallum unum dividitur in 16 partes æquales, quales 7 tribuuntur denti, 9 vero interstitio inter binos relinquuntur, quarum 8 cedunt diametro bacilli. Vel idem dividitur in 7 partes æquales, quarum 3 spissitudini dentis IK, $3\frac{2}{3}$ spissitudini seu diametro bacilli tribuuntur.

Tab. XII. Fig. 121. n. 3. 3. Idem intervallum dividitur in 3 partes æquales & 2 tribuuntur altitudini dentis HG. Sunt & qui HG fere $\frac{3}{4}$ faciunt.

4. Anguli dentium secundum convexitatem arcus prope contactum bacilli terminati resecantur, ut superincessus super bacillo volvens (§. 937.) frictionem imminuat (§. 954.).

5. Foramina, quibus dentes insiguntur, esse debent quadrata & axiculi ferrei in centris rotarum exacte constituendi, eo meliores, quo minores, quia minorum minor est frictio, eadem de causa imponendi concavo orichalceo aut saltem ligneo, nequaquam ferreo.

6. Rotæ radiatæ duplicem plerumque habent orbem, nisi bacilli exiguæ fuerint longitudinis, & si numerus bacillorum exiguus & resistentia ingens, cylindro ligneo inciduntur: id quod in molis ferrariis fieri consuevit.

SCHOLION 1.

998 *Distantia dentium in rotis, quorum usus in molendinis est, intra spatium 4 & 5 digitorum fere continetur.*

SCHOLION 2.

999 *Rotæ horologiorum metallicæ accuratam inprimis exigunt divisionem, ad quam absolvendam peculiaribis instrumentis opus est* a Leupoldo (e) *descriptis.*

(e) in Theatro Machinarum generali c. 5. §. 93. 94.

FINIS MECHANICAE.

ELE-

Digitized by Google

ELEMENTA HYDROSTATICÆ.

Digitized by Google

Digitized by Google

PRÆFATIO.

Non dubito, fore multos, quibus leges hydrostaticæ paradoxæ videbuntur. Cum enim gravitatem sibi imaginentur tanquam vim in materia persistentem, quæ mutari nequeat, corpore immutato, fluida vero, quamdiu intra eosdem terminos conclusa quiescunt, omnis actionis in corpora alia prorsus expertia judicent; rationem sane non capiunt, cur partem gravitatis corpori demerso veluti adimant, vel etiam totum ingenti sæpius impetu sursum propellant. Enimvero quemadmodum leges hydrostaticæ admodum evidenter demonstrantur; ita non minus experientia singulæ confirmantur. Hinc discant velim, qui in rebus naturalibus cognoscendis sensui ac imaginationi nimium tribuunt, res naturales alias plane esse in intellectu, quam in sensu: cujus veritatis plenior convictio ab Optica speranda. Quodsi hunc solum sui usum hydrostatica præberet,

ret, digna profecto foret, quam meditarentur interiora Naturæ contemplaturi: verum enim vero ipsa quoque clavem continet, qua multa abdita reserantur. Non exiguus est phænomenorum numerus, quorum ratio in Hydrostatica continetur, & quæ nec sine ea intelligi, nedum comprehendi possunt. Hydrostaticæ usum in examinanda bonitate metallorum, mineralium, aliorumque corporum solidorum, inprimis autem fluidorum, in *Medicina hydrostatica* ostendit celeberrimus *Boylius.* Varios eosque præclaros in vita humana usus in ipsa pertractatione passim indicavi. Sine ea nec Aërometria intelligi, nec Hydraulica exacte tradi potest. Sat ergo rationis apparet, cur Hydrostaticæ elementa inter elementa Matheseos præcipuum quendam locum sibi vindicent, & cur digna sint, quæ ulterius excolantur & ad varios in vita humana usus applicentur. Agite itaque, quotquot natura melioris ingenii ac animi dotibus ditavit, quam ut de pane lucrando solum cogitent, evolvite hæc Hydrostaticæ elementa, legite, relegite, meditamini, ut genuinam Physicæ pertractandæ ideam animo comprehendatis.

ELE-

Digitized by Google

ELEMENTA HYDROSTATICÆ.

CAPUT I.

DE CORPORUM SPECIFICA GRAVITATE ET LEVITATE.

DEFINITIO 1.

1. Hydrostatica est scientia gravitationis in fluido.

SCHOLION.

2. *Docetur nempe in Hydrostatica non modo ratio gravitatis fluidorum, sed & inprimis actio eorum in solida demersa.*

DEFINITIO 2.

3. *Corpus fluidum* est, cujus massulæ quantælibet sunt inconnexæ, mutua cohæsione a causa quacunque impedita.

DEFINITIO 3.

4. *Corpus solidum* est, cujus massulæ quantælibet sunt connexæ.

DEFINITIO 4.

5. *Corpus specifice levius* est, quod sub eodem volumine minus pondus continet, quam alterum.

DEFINITIO 5.

6. *Corpus specifice gravius* est, quod sub eodem volumine majus pondus continet, quam alterum.

SCHOLION.

7. *Sint duo globi æquales, quorum scilicet diameter unius pedis, alter plumbeus, alter ligneus. Quia plumbeus gravior ligneo; dicetur specifice gravior, ligneus autem specifice levior.*

DEFINITIO 6.

8. *Corpus densius* est, quod plus massæ sub eodem volumine continet, quam alterum.

COROLLARIUM.

9. Cum massa sit gravitati proportionalis (§. 112. *Mechan.*); corpus specifice gravius densius est specifice leviori, & corpus densius specifice gravius est rariori (§. 5. 6.).

DEFINITIO 7.

10. *Corpus rarius* est, qnod minus massæ sub eodem volumine continet, quam alterum.

COROLLARIUM.

11. Quare cum massa sit gravitati pro-

Digitized by Google

portionalis (§. 112. *Mechan.*); corpus rarius est specifice levius densiori & specifice levius rarius specifice graviori (§ 5. 6.).

AXIOMA 1.

12. *Corpora ejusdem densitatis sub eodem volumine æqualem massam continent.*

COROLLARIUM.

13. Quare si volumina eorundem æqualia fuerint, ejusdem quoque ponderis erunt, seu gravitatem eandem habebunt (§. 112. *Mechan.*).

AXIOMA 2.

14. *Si duorum corporum volumina fuerint æqualia, densitates sunt ut massæ.*

SCHOLION.

15. *Nempe vi defin.* (§. 8) *corpus dicendum est duplo densius, si duplum massæ sub eodem volumine continet; triplo densius, si triplum, & ita porro.*

COROLLARIUM.

16. Sunt igitur densitates corporum æqualium ut pondera, seu ut gravitates (§. 112. *Mechan.*).

THEOREMA 1.

17. *Si duo corpora eandem densitatem habuerint, massæ sunt ut volumina.*

DEMONSTRATIO.

Sub eodem enim volumine æqualem massam continent (§. 12.), adeoque in volumine duplo continetur massa dupla, in triplo tripla, in quadruplo quadrupla & ita porro. Sunt igitur massæ ut volumina. *Q. e. d.*

COROLLARIUM. 1.

18. Quoniam etiam gravitates sunt ut massæ (§. 112. *Mechan.*); corporum ejusdem densitatis gravitates sunt in ratione voluminum (§. 167. *Arithm.*).

COROLLARIUM 2.

19. Ergo corpora ejusdem densitatis sunt etiam ejusdem gravitatis specificæ & contra (§. 6.).

COROLLARIUM 3.

20. Quare corpora diversæ densitatis sunt diversæ gravitatis specificæ & contra.

THEOREMA 2.

21. *Massæ duorum corporum sunt in ratione composita densitatum atque voluminum.*

DEMONSTRATIO.

Sint trium corporum massæ a, b, c, volumina primi & secundi d, tertii e, densitas primi f, secundi & tertii g: sint nempe primum & secundum ejusdem voluminis, secundum & tertium ejusdem densitatis. Quoniam

$a:b$

$a : b = f : g$ (§. 14.)
$b : c = d : e$ (§. 17.)

erit $ab : bc = fd : ge$ (§. 213. *Arithm.*) consequenter $a : c = fd : ge$ (§. 181. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

22. Quoniam gravitates sunt ut massæ (§. 112. *Mechan.*); eædem etiam sunt in ratione composita densitatum & voluminum (§. 167. *Arithm.*).

THEOREMA 3.

23. *Si duorum corporum massæ vel gravitates fuerint æquales; densitates sunt reciproce ut volumina.*

DEMONSTRATIO.

Sint enim omnia ut in theorematis præcedentis demonstratione; erit $a : c = fd : ge$ (§. 21.). Jam $a = c$ *per hypoth.* adeoque $fd = ge$. Est igitur $f : g = e : d$ (§. 299. *Arithm.*). *Quod erat unum.*

Quoniam gravitates sunt ut massæ (§. 112. *Mechan.*). Si massæ æquales sunt, etiam gravitates æquales sunt. Sed si massæ æquales sunt, densitates sunt reciproce ut volumina *per demonstr.* Ergo etiam, si gravitates æquales sunt, densitates reciproce sunt ut volumina. *Q. e. d.*

THEOREMA 4.

24. *Duorum corporum quorumcunque densitates sunt in ratione composita ex directa massarum & voluminum reciproca.*

DEMONSTRATIO.

Sint omnia ut in demonstratione theorematis secundi. Erit

$a : c = fd : ge$ (§. 21.)

Ergo $age = cfd$ (§. 297. *Arithm.*) consequenter $f : g = ac : cd$ (§. 299. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

25. Quoniam gravitates corporum sunt ut massæ eorundem (§. 112. *Mechan.*); densitates corporum sunt in ratione composita ex directa gravitatum & reciproca voluminum (§. 218. *Arithm.*).

AXIOMA 3.

26. *Si duorum corporum volumina fuerint æqualia, gravitates specificæ sunt ut gravitates absolutæ.*

SCHOLION.

27. *Corpus enim duplo gravius specifice dicitur altero, si duplam gravitatem sub eodem volumine continet; triplo dicitur gravius, si triplam &c.* (§. 6.).

Digitized by Google

COROLLARIUM.

28. Quoniam corporum gravitates absolutæ sunt ut massæ (§. 112. *Mech.*); corporum æqualium gravitates specificæ sunt ut massæ (§. 167. *Arithm.*).

THEOREMA 5.

29. *Corporum ejusdem ponderis gravitates specificæ sunt in ratione voluminum reciproca.*

DEMONSTRATIO.

Si gravitas communis $= g$, volumen corporis A $= a$, volumen alterius B $= b$. Quoniam B supponitur esse homogeneum; gravitates voluminibus proportionales sunt (§. 130. *Mech.*), adeoque gravitas ipsius B sub volumine a, reperitur $ag : b$ (§ 302. *Arithm.*). Sunt igitur gravitates specificæ corporum A & B ut g ad $ag : b$ (§. 26.), hoc est, ut bg ad ag (§. 178. *Arithm.*), consequenter ut b ad a (§. 181. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

30. Quodsi ergo volumina fuerint æqualia, etiam gravitates specificæ æquales erunt, hoc est, corpora ejusdem ponderis & voluminis eandem gravitatem specificam habent.

THEOREMA 6.

31. *Gravitates absolutæ duorum corporum sunt in ratione composita voluminum & gravitatum specificarum (hoc est, gravitatum sub eodem volumine).*

DEMONSTRATIO.

Sint corporum ejusdem voluminis c gravitates absolutæ a & b, specificæ f & g; corporum ejusdem ponderis a volumina c & d, gravitates specificæ f & e. Erit

$$a : b = f : g \text{ (§. 26.)}$$
$$f : e = d : c \text{ (§. 29.)}$$

Ergo $af : be = fd : gc$ (§. 213. *Ar.*)

Unde $a : b = d : \frac{gc}{e}$ (§. 185. *Arithm.*)

& $a : b = ed : gc$ (§. 178. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 7.

32. *Gravitates specificæ duorum corporum sunt in ratione composita ex directa gravitatum absolutarum & reciproca voluminum.*

DEMONSTRATIO.

Sint omnia ut in demonstratione theorematis præcedentis; erit

$$a : b = ed : gc \text{ (§. 31.)}$$

Ergo $\frac{a}{d} : \frac{b}{c} = e : g$ (§. 185. *Arith.*), consequenter $ac : bd = e : g$ (§. 178. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROL-

Digitized by Google

COROLLARIUM.

33. Quoniam densitates sunt in ratione composita ex directa gravitatum absolutarum & reciproca voluminum (§. 25.); etiam gravitates specificæ sunt ut densitates (§. 167. *Arithm.*).

CAPUT II.
DE
ÆQUILIBRIO ET PRESSIONE FLUIDORUM.

THEOREMA 8.

34. *Si in tubis communicantibus fluidi homogenei eadem altitudo fuerit, fluidum in tubo uno æquiponderat fluido in altero.*

DEMONSTRATIO.

Fig. 1. I. Si tuborum AB & DC diametri æquales fuerint; columnæ fluidi BE & FD eandem basin & altitudinem habent, adeoque æquales sunt (§. 535. *Geom.*). Quare cum etiam gravitates æquales sint (§. 130. *Mechan.*), fluidum in BE eadem vi premit fluidum in BD, qua idem urgetur a fluido in DF. Fluida ergo in utroque tubo quiescunt & neutrum alterum movet (§. 75. *Mechan.*). *Quod erat unum.*

Fig. 2. II. Quodsi basis tubi GI fuerit quadrupla basis alterius HK & aqua descenderet ex L usque ad O, e. gr. per intervallum unius digiti, in tubo altero NK ascenderet ex M in N per altitudinem 4 digitorum (§. 580. *Geom.*). Quare celeritas, qua moveretur fluidum in tubo HK est ad celeritatem, qua idem moveretur in GI, ut basis tubi GI ad basin alterius HK (§. 33. *Mechan*). Sed quia eadem fluidi in utroque tubo altitudo ipsumque fluidum homogeneum *per hypoth.* massa fluidi in tubo GI est ad massam fluidi in altero HK ut basis tubi GI ad basin alterius HK (§. 573. *Geom.*). Est ergo vis fluidi in tubo LI ad vim fluidi in tubo HK ut factum ex basi tubi GI in basin alterius HK ad factum ex basi tubi HK in basin alterius GI (§. 278. *Mech.*). Quare cum hæc facta æqualia sint (§. 207. *Arithm.*) vires etiam æquales sunt, adeoque neutrum fluidorum alterum movet (§. 75. *Mechan.*). *Quod erat secundum.*

Digitized by Google

Fig. 3. III. Si tubus unus SR fuerit ad alterum QR inclinatus, utriusque vero diameter eadem, & QR ad horizontem perpendicularis; gravitas absoluta fluidi in tubo inclinato SR est ad gravitatem respectivam ejusdem, qua nititur juxta directionem plani TR ut longitudo plani TR ad altitudinem ejus TZ (§ *261. Mechan.*). Non alia igitur vi urget fluidum in tubo QR, quam quantitas contenta in tubo perpendiculari TZ eandem basin & altitudinem habente cum inclinato TR, consequenter fluido in tubo QR æquiponderat, *per cas. 1. Quod erat tertium.*

Fig. 4. IV. Eodem modo ostenditur fluida æquiponderare in tubis inclinatis AB & CD inæqualium diametrorum, si ad eandem altitudinem constituantur. *Quod erat quartum.*

COROLLARIUM.

35. In tubis communicantibus fluidum homogeneum præponderat, cujus major est altitudo.

THEOREMA 9.

36. *In tubis communicantibus quibuscunque fluida diversæ gravitatis specificæ æquiponderant, si altitudines habuerint rationem gravitatum specificarum reciprocam.*

DEMONSTRATIO.

E. gr. Sint tuborum AB & DC diametri æquales & in tubo AB aqua, in tubo DC argentum vivum. Et quia gravitas specifica aquæ est ad gravitatem specificam argenti vivi ut 1 ad 14; sit reciproce altitudo aquæ in tubo AB 14 digitorum, altitudo vero Mercurii in tubo DC digiti unius. Fig. 1.

Quoniam bases cylindrorum aquei & mercurialis æquales sunt *per hypoth.* altitudinem rationem habent (§.*573 Geom.*), consequenter cum tam aqua, quam mercurius sit fluidum homogeneum, licet inter se heterogenea, gravitates absolutæ eorundem erunt in ratione composita ex directa tam gravitatum specificarum 1 : 4, quam altitudinum EB & DH 4:1 (§. 31.), hoc est æquales sunt (§. *159. Arithm*). Pro mercuriali itaque cylindro substituere licet aqueum, cujus altitudo est altitudinis ipsius quadrupla (§. *15. Arithm.*). Sed hic alteri aqueo in BA æquiponderat (§. 34). Ergo etiam mercurialis eidem æquiponderat.

Idem

Idem non absimili modo ostenditur, si tuborum diametri fuerint inæquales & tubi quomodocunque inclinati.

COROLLARIUM 1.

Fig. 1. 37. Inveniri adeo potest fluidorum duorum quorumcunque gravitas specifica, si in tuborum communicantium unum AB infundatur fluidum unum, in alterum vero CD alterum & altitudines GB & HD, ad quas subsistunt æquilibrata, ex eadem mensura accurate æstimentur. Est enim gravitas fluidi in AB ad gravitatem in DC ut DH ad BG (§. 36.).

SCHOLION.

38 *Quodsi fluida facile commisceantur, tubum horizontalem* BD *Mercurio replere debemus, commixtionem impedituri. Etsi autem fluida non facile commisceri soleant, specifice tamen gravius primo loco infundendum, ne concepto impetu ruat in alterum & fluida turbentur.*

COROLLARIUM 2.

39. Quoniam densitates fluidorum sunt ut gravitates specificæ (§. 33); eædem erunt reciproce ut altitudines fluidorum DH & BG in tubis communicantibus æquilibratorum.

COROLLARIUM 3.

40. Eadem ergo methodo, quam in *Cor. 1.* (§ 37.) exposuimus, ratio densitatum fluidorum determinatur.

THEOREMA 10.

Fig. 5. 41. *In vasis perpendicularibus* ABCD *&* EGFH *æquales bases* BD *&* GH *habentibus, fundi premuntur a fluido homogeneo in ratione altitudinum* AB *&* EG.

DEMONSTRATIO.

Quoniam vasa sunt perpendicularia, hoc est, bases eorundem in plano horizontali collocatæ, *per hypoth.* fluida adversus fundos nituntur secundum lineas perpendiculares (§. 215. *Mechan.*), adeoque tota gravitate sua, cum nihil resistat. Premuntur adeo fundi in ratione gravitatum. Sed gravitates sunt ut volumina (§. 130. *Mechan.*), volumina sunt ut altitudines (§. 573. *Geom.*). Ergo fundi premuntur in ratione altitudinum. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

42. Quodsi ergo etiam altitudines æquales sunt, fundi æqualiter premuntur.

COROLLARIUM 2.

43. In vase igitur perpendiculari æquales partes fundi a fluido homogeneo ad libellam consistente æquali vi premuntur. Altitudines enim fluidi æquales sunt super parte qualibet fundi (§. 36.).

COROLLARIUM 3.

44. In uno eodemque vase fluidum ad diversas altitudines successive constitutum

Digitized by Google

tutum fundum premit in ratione altitudinum, ad quas consistit.

COROLLARIUM 4.

45. Decrescente adeo altitudine, decrescit pressio, suntque hujus decrementa in ratione decrementorum altitudinis.

THEOREMA 11.

Fig. 6. 46. *In vasis perpendicularibus* ABDC *&* EGHF, *bases* BD *&* GH *utcunque inæquales habentibus, fundi premuntur a fluido homogeneo in ratione composita basium & altitudinum.*

DEMONSTRATIO.

Ex demonstratione theorematis præcedentis (§. 41.) patet, fundos premi in ratione gravitatum. Gravitates vero fluidorum sunt ut volumina (§. *130. Mechan.*), volumina sunt in ratione composita basium & altitudinum (§. *572. Geom.*). Ergo Fundi premuntur in ratione composita basium & altitudinum (§. *167. Arithmet.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 12.

Fig. 7. 47. *Si vas inclinatum* ABCD *eandem altitudinem & basin habuerit cum perpendiculari* BEFG, *fundus utriusque æqualiter premitur.*

DEMONSTRATIO.

In vase inclinato ABCD fundus CD premitur secundum directionem BD. Est autem vis gravitatis secundum BD ad gravitatem absolutam ut BE ad BD (§. *261. Mechan.*). Ergo fundus CD eodem modo premitur, ac si a fluido ad altitudinem BE consistente perpendiculariter premeretur. Fundus igitur vasis perpendicularis BEFG & inclinati ABDC æqualiter premuntur. *Q. e. d.*

THEOREMA 13.

48. *Si bases vasis* ABDC *inæquales fuerint, fundus eodem modo premitur, ac si inferior superiori æqualis existeret.* Fig. 8.

DEMONSTRATIO.

I. Sit basis inferior CD minor superiore AB. Quoniam fluidum fundum CD, quem in plano horizontali supponimus, secundum lineas perpendiculares EC premit (§. *215. Mechan.*), nonnisi fluidum intra cylindrum ECDF comprehensum adversus eum nititur, reliqua massa contra latera vasis nitente. Eodem ergo modo premitur, ac si basis superior inferiori æqualis esset. *Quod erat unum.*

II. Sit

Digitized by Google

Fig. 9. II. Sit vasis inferior basis CD multo major superiore FG. Nempe ut demonstratio facilior evadat, cylindro ABDC infixus intelligatur tubus FE. Quodsi ponamus fundum CD attolli in L, ut fluidum moveatur per intervallum CL: in tubo FE per altitudinem EM ascendet, quæ est ad CL ut basis CD ad basin GF (§. 580. *Geom.*). Est vero celeritas fluidi in tubo FE ad celeritatem in vase AD ut EM ad CL (§ 33. *Mechan.*), consequenter ut basis CD ad basin FG (§. 167. *Arithm.*). Vis ergo, qua aqua in tubo deorsum nititur, prodit, si basis cylindri CD ducatur in altitudinem FK (§. 280. *Mech.*), summando scilicet vires elementares æquales ad altitudinem FK applicatas (§. 95. *Analyſ. infin.*) consequenter fundus CD eadem vi premitur, qua a cylindro HCDI premeretur (§. 541. *Geom.*). *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM.

49. Vasorum igitur fundi æquales eadem vi premuntur a fluido ad eandem altitudinem consistente, quæcunque sit figura vasis.

SCHOLION 1.

Fig. 10. 50. *Hinc ratio apparet, cur tanta vi fundus superior dolii* AD *attollatur ab aqua in tubo* CD *plurium pedum contenta. Ipsemet experimentum aliquoties iteravi in vase ligneo* AB *intus pice probe obducto & tubo* CD *ex lamina ferrea stanno obducta parato altitudinis 14 fere pedum, nec 800 libræ basi superiori impositæ impedire potuerunt, quo minus attolleretur.*

SCHOLION 2.

51. *Ab hoc principio derivavi* siphonem *meum* anatomicum, *ab aliquot jam annis cum amicis communicatum. Fieri scilicet curavi ex lamina ferrea stanno obducta vas cylindricum* DGEF *& eidem afferruminari jussi tubum* FIH. *Quodsi jam vesica, aut ventriculus, aut pellis animantium brutorum, aut alia quæcunque partes membranaceæ corporis animalis inversæ basi superiori superinducantur, eas non modo ingenti vi in hemisphæricam figuram expandit, sed & poros subintrans omnes membranas & vasa ita dividit, ut, levi incisura facta, solis digitis multo accuratius separentur, quam cultro anatomico. Jucundum sane est spectaculum, dum non modo substantia membranacea mire intumescit, sed & vasorum per eam dispersorum ramificationes & insertiones minimas distincte spectare tunicasque, quæ vulgo pro una habentur, in plures discerpere licet. Probe autem notandum est, quod, si interior vesica aut reliquarum partium corporis animalis super vase* DG *expansarum superficies aquam lambat, aqua per substantiam earum penetrare nequeat.* Fig. 11.

SCHOLION 3.

52. *Ceterum si vesicæ ingens pondus imponas, ab aqua in tubo* HI *vix duarum librarum attollitur. Ac ideo hoc experimentum substitui potest anteriori* (§ 50.).

SCHOLION 4.

Fig. 9. 53. *Veritatem hujus doctrinæ de pressione fluidorum in ratione basis ac altitudinis exploraturus vas metallicum* ACDB *ita construi curet, ut fundus* CD *sit mobilis, annulo coriaceo madefacto apprimendus, dum experimentum capitur, & basi superiori* AB *successive tubi æquealti, sed diversarum diametrorum applicari possint. Quodsi enim funiculi per tubum* FE *trajecti alterius extremum annulo* K *basi mobili afferruminato, alterum vero brachio alicujus libræ alliges & in lance alteri appensa pondus colloces, idque adjectis minoribus tamdiu augeas, donec fundus* CD *attollatur, non modo hinc disces, eodem semper pondere opus esse ad fundum attollendum, quæcunque sit tubi* FE *amplitudo, modo aqua constanter ad eandem altitudinem consistat, sed & pondus æquale deprehendes gravitati cylindri aquei eandem cum vase basin* CD, *sed altitudinem* FK *habentis.*

SCHOLION. 5.

54. *Cum iis, quæ de æquilibrio fluidorum demonstrata sunt, non consentire videtur, quod in tubis capillaribus, seu fistulis gracilioribus utrinque patulis unaque sua extremitate sub aquam demersis, aqua ultra libellam assurgat, eo quidem magis, quo minor tubuli diameter. Enimvero facile colligitur, phænomenon hoc alteri cuidam causæ adscribendum esse, licet sine principiis aërometricis definiri nequeat.*

CAPUT III.

DE GRAVITATIONE CORPORUM SPECIFICE GRAVIORUM IN FLUIDIS LEVIORIBUS.

THEOREMA 14.

55. *Corpus specifice gravius in fluido leviori eam ponderis sui partem amittit, quantum est pondus fluidi sub eodem volumine.*

DEMONSTRATIO.

Ponamus e. gr. cubum pollicarem plumbeum F sub aqua demergi. Expelletur adeo ex eo, quem occupat, loco cubus pollicaris aquæ. Sed pondus hujus aquæ a resistentia ambientis sustentabatur. Ergo a resistentia aquæ ambientis tanta quoque ponderis cubi plumbei pars sustentari debet, quantum est pondus aquæ expulsæ. Hac igitur parte gravitas

tas corporis demersi deprehendetur imminuta. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

56. Cum fluidum specifice gravius sub eodem volumine majus pondus possideat, quam levius (§ 6); idem corpus in fluido specifice graviori majorem ponderis sui partem amittit, quam in leviori, adeoque in leviori magis ponderat, quam in graviori.

SCHOLION.

57. *Ita globus plumbeus minus ponderat in aqua, quam in spiritu vini.*

COROLLARIUM 2.

58. Gravium igitur homogeneorum æqualium in aëre æquiponderantium æquilibrium tollitur, si unum fluido graviori, alterum leviori immergatur.

COROLLARIUM 3.

59. Cum gravitates specificæ sint ut absolutæ sub eodem volumine (§. 26.); & gravitas fluidi solido immerso mole æqualis sit ad gravitatem solidi ut pars ponderis in fluido amissa ad pondus ipsius integrum (§. 55.); erit gravitas fluidi specifica ad gravitatem solidi demersi ut pars ponderis a solido amissa ad pondus ejus integrum (§. *167. Arithm.*).

COROLLARIUM 4.

60. Duo solida mole æqualia idem pondus in eodem fluido amittunt (§. 55.). Sed specifice gravioris pondus majus est, quam specifice levioris (§. 6.). Ergo majorem sui ponderis partem amittit specifice levius, quam gravius (§. *205. Arithm.*).

COROLLARIUM 5.

61. Quia corporum pondere æqualium volumina sunt reciproce ut gravitates specificæ (§. 29.); specifice levius ejusdem cum graviori ponderis in eodem fluido majus pondus amittit, quam gravius (§. 55). Quare si in uno fluido æquiponderant, in alio non æquiponderabunt, sed specifice gravius præponderabit eo magis, quo fluidum densius.

PROBLEMA 1.

62. *Invenire pondus fluidi cujuscunque, e. gr. vini in dolio contenti.*

RESOLUTIO.

1. Quæratur volumen fluidi per regulas stereometricas.
2. Cubus plumbeus pollicaris ex crine equino suspensus fluido immergatur & ope bilancis exactæ notetur pondus amissum: quod erit pondus fluidi sub volumine unius digiti cubici (§. 55.).
3. Quare cum in fluido homogeneo pondus sit volumini proportionale (§. *130. Mech.*); pondus fluidi quæsitum per regulam trium (§. *302. Arithm.*) invenietur.

E. gr. Sit capacitas dolii 88 pedum cubicorum, pes cubicus vini 68 librarum: erit gravitas vini in integro dolio 88. 68 : 1 = 5984 librarum.

Digitized by Google

COROLLARIUM.

63. Eodem ergo modo determinari potest pondus unius pedis cubici fluidi cujuscunque & in usus futuros annotari.

SCHOLION.

64. *Pondus pedis cubici aquæ investigarunt multi; sed cum in diversis fluviis ac fontibus non eadem sit gravitas specifica aquæ, immo nec omni tempore eadem detur in eodem fluvio: mirum non est, observationes diversorum Autorum inter se admodum discrepare.* Morlandus (a) *experimentis sæpius iteratis didicit aquæ pedem cubicum juxta mensuram Parisinam esse 70 librarum cum duabus unciis.*

THEOREMA 15.

65. *Gravitates specificæ fluidorum sunt ut pondera ab eodem solido in utroque amissa.*

DEMONSTRATIO.

Gravitates specificæ sunt ut absolutæ sub eodem volumine (§. 26.). Sed pondera ab eodem solido in diversis fluidis amissa sunt gravitates absolutæ fluidorum sub eodem volumine (§. 55.). Ergo gravitates specificæ fluidorum sunt ut pondera ab eodem solido in iis amissa *Q. e. d.*

PROBLEMA 2.

66. *Invenire gravitatem specificam fluidorum quorumcunque.*

RESOLUTIO.

1. Ex uno brachio libræ suspendatur globus plumbeus & ad alterum appendatur pondus D, quod cum ipso in aëre æquilibrium servet.
2. Globus successive immittatur diversis fluidis, quorum specifica gravitas determinanda, noteturque pondus, quod in singulis fluidis demerso æquiponderat.
3. Singula hæc pondera subducantur a pondere D: ita relinquentur partes in quolibet fluido amissæ & una ratio gravitatis specificæ fluidorum constabit (§. 65).

COROLLARIUM.

67. Cum densitates sint ut gravitates specificæ (§. 13.); eodem modo invenitur ratio densitatis fluidorum.

SCHOLION 1.

68. *Maximi usus est hoc problema, per id enim gradus puritatis ac bonitatis fluidorum investigantur: quod scire non solum in scientia naturali excolenda, sed & in vita civili ac praxi Medica proficuum existit.*

SCHOLION 2.

69. *Quodsi diverso tempore gravitatem specificam fluidorum investiges; hieme majorem, quam æstate deprehendes.* Joan. Casp. Eisenschmidius (b) *experimenta hanc in rem complura exhibet, ex quibus potiora in hanc tabulam referre libet.*

Tabu-

(a) Elevation des Eaux p. 7.
(b) in Disquisitione Nova de ponderibus & mensuris p. 174. & 175.

Digitized by Google

Tabula gravitatis Liquorum in pondere Parisino.						
Pollex cubicus Paris.	Æstate			Hieme		
	Unc.	Groff.	Gran.	Unc.	Groff.	Gran.
Mercurii	7	1	66	7	2	14
Olei vitrioli	-	7	59	-	7	71
Spiritus vitrioli	-	5	33	-	5	38
Spiritus nitri	-	6	24	-	6	44
Spiritus salis	-	5	49	-	5	55
Aquæ fortis	-	6	23	-	6	35
Aceti	-	5	15	-	5	21
Aceti destillati	-	5	11	-	5	15
Vini Burgundici	-	4	67	-	4	75
Spiritus vini	-	4	32	-	4	42
Cerevisiæ albæ	-	5	1	-	5	9
Cerevisiæ fuscæ	-	5	2	-	5	7
Lactis bubuli	-	5	20	-	5	25
Lactis caprini	-	5	24	-	5	28
Urinæ	-	5	14	-	5	19
Spiritus urinæ	-	5	45	-	5	53
Olei Tartari	-	7	27	-	7	43
Olei olivarum	-	4	53	hieme congelatur.		
Olei terebinthinæ	-	4	39	-	4	46
Aquæ marinæ	-	6	12	-	6	18
Aquæ fluvialis	-	5	10	-	5	13
Aquæ putealis	-	5	11	-	5	14
Aquæ destillatæ	-	5	8	-	5	11

SCHOLION 3.

70. *Ut accuratissime omnia peragantur, gravitas fili extra fluidum constituti subtrahenda est ponderi solidi in aëre, vis vero, quæ requiritur, ad filum sub fluido demergendum, si specifice levius, addenda est ponderi amisso. Quodsi vero filum, ex quo pendet solidum, fluido gravius fuerit, integrum pondus fili in aëre subtrahendum est a pondere solidi in aëre, & pondus, quod filum amittit, a pondere in fluido amisso. Enimvero quoniam filum cum solido immerso idem totum constituit, hac cautione opus non est, si in omnibus fluidis, quorum gravitates specificas inter se conferre volueris, eandem fili portio-*

nem

nem una cum solido immergas. Quia crinis equinus eandem fere cum aqua gravitatem specificam habet; experimenta hydrostatica in aqua instituturi ex eodem solida suspendunt.

PROBLEMA 3.

71. *Invenire, utrum partes fluidi inferiores comprimantur a superioribus, nec ne.*

RESOLUTIO.

Exploretur *per probl. 2.* (§. 66.), quamnam ponderis sui partem amittat idem solidum in diversis ejusdem fluidi profunditatibus, ita ut ratio habeatur cautionis modo commendatæ (§. 70.). Quodsi enim pondus a solido solo in diversis profunditatibus amissum idem fuerit, eadem erit gravitas fluidi specifica in partibus inferioribus, quæ in superioribus (§. 55.), consequenter eadem densitas (§. 33). Quodsi vero in profunditate majore pondus majus amittitur, quam in minore; in priore casu gravitas specifica (§. 6.) consequenter & densitas (§. 33.), major erit quam in altero. *Q. e. i. & d.*

SCHOLION.

72. *Tentavit hoc in aqua* Franciscus Tertius de Lanis (c). *Accepto autem vase duorum pedum altitudine cum globum vitreum eidem immitteret, qui pondus aquæ 18 granis excedebat, eundem quoque cum æquipondio 18 granorum perfectissimum facere æquilibrium expertus est. Cum eandem ex crine equino pendulum ad infimam aquæ profunditatem descendere permitteret, ponderi ejus dimidium insuper granum decedere observavit: quod tamen decrementum quia in crinem equinum aquæ nunc totum immersum conjici debet, quippe extra aquam grani semissi æquiponderantem, aquæ partes inferiores a superioribus nullam pati compressionem agnovit. Non inutile foret idem experimentum in profunditatibus majoribus instituere.*

PROBLEMA 4.

73. *Determinare rationem, quam habet gravitas specifica fluidi ad gravitatem specificam solidi quod fluido specifice gravius existit.*

RESOLUTIO.

Ponderetur massa quantalibet solidi in fluido & notetur accurate pondus in eodem amissum, non neglecta cautione (§. 70.) commendata: erit enim gravitas specifica fluidi ad gravitatem specificam solidi in ipso demersi, ut pars ponderis a solido amissa ad pondus ejus integrum (§. 59.). *Q. e. d.*

SCHOLION.

74. *Si fluidum specifice gravius solido, proposito satisfiet per ea, quæ in capite subsequente traduntur.*

THEO-

(c) in Magisterio Naturæ & Artis Tom. 3. lib. 25. c. 1. exper. 7. f. 492.

THEOREMA 16.

75. *Corporum pondere æqualium gravitates specificæ sunt reciproce ut partes ponderis in eodem fluido amissæ.*

DEMONSTRATIO.

Gravitates specificæ corporum pondere æqualium sunt reciproce ut volumina (§. 29.). Quare cum partes ponderis in eodem fluido amissæ voluminum rationem habeant (§. 55.); gravitates corporum specificæ sunt reciproce ut partes ponderis in eodem fluido ab iis amissæ. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

76 Invenitur adeo ratio, quam habent gravitates specificæ solidorum, si massæ in aëre æquiponderantes in eodem fluido ponderentur & pondera a singulis amissa notentur.

SCHOLION.

77 *Gravitatem specificam plurimorum corporum solidorum investigarunt multi. Inprimis prolixæ sunt tabulæ, quæ in hanc rem exhibentur in Transactionibus Anglicanis* (d). *Variorum quoque corporum, præsertim metallorum, gravitatem specificam, jam ante dedit* Marinus Gethaldus (e) *& ex eo* Guilielmus Oughtredus (f): *dederunt postea alii. Nobis suffecerit annotasse metallorum & aliorum quorundam corporum gravitatem specificam a* Petito *multa solertia investigatam, prout eam exhibuit* Mersennus (g) *& ex ipso postea alii. Nempe si fuerit gravitas.*

Auri librarum 100

erit sub eodem volumine gravitas

Mercurii	lib. $71\frac{1}{2}$	Stanni puri	$38\frac{1}{4}$
Plumbi	$60\frac{1}{2}$	Magnetis	26
Argenti	$54\frac{1}{2}$	Marmoris	21
Cupri	$47\frac{1}{3}$	Lapidis	14
Æris cyprii	45	Sulphuris	$12\frac{1}{2}$
Ferri	42	Ceræ	5
Stanni communis	39	Aquæ	$5\frac{1}{3}$

PROBLEMA 5.

78. *Data gravitate fluidi, invenire gravitatem solidi mole ipsi æqualis.*

RESOLUTIO.

1. Investigetur ratio gravitatis specificæ fluidi ac solidi (§. 73.).
2. Hac data per regulam trium invenietur gravitas solidi sub volumine æquali.

E. gr. Quæritur gravitas plumbi sub eodem volumine cum aqua 200 librarum. Quia gravitas specifica aquæ ad gravitatem

(d) n. 169. p. 926. & seqq. it. n. 199. p. 994. conf. Epitome Transact. Angl. Cl. Lowthorpii vol. 1. cap. 6. p. 610. & seqq.
(e) in Archimede promoto.
(f) in Opusculis Mathematicis p. 61.
(g) in Phænomenis Hydraulicis cor. prop. 47. Cogitatorum Physico-Mathem. p. 192.

Digitized by Google

tem plumbi ut $5\frac{1}{3}$ ad $60\frac{1}{2}$ (§. 77.), hoc est, ut 32 ad 363 (§. 178. *Arithm.*); reperitur gravitas plumbi 363 . 200 : 32 = $2268\frac{3}{4}$ librarum.

COROLLARIUM.

79 Eodem modo invenitur data gravitate solidi unius gravitas alterius, si ratio gravitatis specificæ investigetur (§. 76). E. gr. quæritur gravitas stanni cum plumbo 30 librarum sub eodem volumine. Quia gravitas stanni ad gravitatem plumbi ut 39 ad $60\frac{1}{2}$ (§. 77), hoc est, ut 78 ad 121 (§. 178. *Arithm.*); reperietur gravitas stanni quæsita $19\frac{41}{121}$ librarum.

PROBLEMA 6.

80. *Dato corporis solidi volumine, invenire volumen solidi alterius pondere æqualis.*

RESOLUTIO.

Cum volumina corporum pondere æqualium sint reciproce ut gravitates specificæ (§. 29.); problema præsens eodem modo resolvitur, quo præcedens.

E. gr. Quæritur volumen ferri decem pedibus cubicis marmoris æquiponderantis. Quia marmor ad ferrum ut 21 ad 42 (§. 77.) hoc est, ut 1 ad 2; volumen marmoris erit 20 pedum cubicorum.

PROBLEMA 7.

81. *Dato pondere corporis ex duobus miscibilibus compositi una cum pondere, quod in fluido aliquo amittit, invenire pondera miscibilium sigillatim.*

RESOLUTIO.

1. Investigetur (§. 66.), quantum ponderis in dato fluido massa quædam determinata utriusque miscibilis amittat.
2. Hinc per regulam trium porro eruatur, quantum ponderis in eodem amittere debeat utriusque massa, si pondere æqualis fuerit mixto.
3. Decrementum minus subtrahatur e majori, ut constet excessus, quo pondus a specifice leviori amissum superat pondus a graviori amissum.
4. Porro pondus a specifice graviori amissum subtrahatur a decremento ponderis corporis mixti, ut constet excessus, quo pondus a mixto amissum superat pondus a graviori amissum.
5. Quodsi ad excessum primum, excessum alterum & pondus mixti quæratur numerus quartus proportionalis; erit is pondus miscibilis specifice levioris: quod
6. a pondere mixti subductum relinquit pondus massæ specifice gravioris.

E. gr. Massa 120 librarum ex stanno & plum-

plumbo commixtis composita in aqua 14 libras amittit: quæruntur pondera stanni & plumbi sigillatim. Quoniam experimentando reperitur, stannum 37 librarum in aqua amittere pondus 5 librarum, plumbum vero librarum 23 amittere 2; calculum ita inibis:

37 — 5 — 120
5
$\frac{600}{37}$ lib.

23 — 2 — 120
2
$\frac{240}{23}$ lib.

$$\frac{600}{37} - \frac{240}{23} = \frac{13800 - 8880}{851} = \frac{4920}{851}$$

$$14 - \frac{240}{23} = \frac{11914 - 8880}{851} = \frac{3034}{851}$$

4920 — 3034 — 120
41 1 (120

12
3034 (74 lib. Pondus specif. lev.
411 (120 Pondus mixti
4

46 Pondus specifice gravioris.

DEMONSTRATIO.

Sit pondus mixti integrum $= p$, quod in fluido amittit $= a$, pondus amissum a specifice graviori ejusdem cum mixto ponderis $= b$, amissum a specifice leviori ejusdem itidem cum mixto ponderis $= c$, pondus specifice levioris, quod mixtum ingreditur $= x$, erit pondus specifice gravioris quod mixtum ingreditur $= p - x$, pondus a miscibili x in fluido amissum $= cx : p$, amissum a miscibili $p - x = (bp - bx) : p$. Ergo

$$(bp - bx + cx) : p = a$$

$$cx - bx = (a - b)\, p$$

$$x = (a - b)\, p : (c - b). \text{ Q.e.d.}$$

SCHOLION.

82. *Eodem modo solvi potest problema ab* Hierone *Rege Syracusarum olim* Archimedi *propositum, quantum scilicet argenti coronæ aureæ admiscuerit dolosus artifex* (h).

PROBLEMA 8.

83. *Determinare bonitatem massarum massasque adulteratas distinguere a genuinis.*

RESOLUTIO.

Præsupponendum hic est, bonitatem massæ æstimari ex ratione ipsius ad volumen, e. gr. frumentum eo melius, quo gravitas specifica major. Quare non alia re opus est, quam ut investigetur decrementum ponderis in aqua.

Quodsi eodem mediante gravitatis specificæ massarum ratio ad

 flui-

(h) Vid. Vitruvius lib. 9. c. 3. f. 273.

fluidum aliquod determinetur (§. 73.); massæ adulteratæ facile dignoscuntur, si, facta ponderatione in eodem fluido, diversa ab hac gravitatis specificæ ratio reperitur (§. *cit.*).

SCHOLION 1.

84. *Cum aqua non semper ejusdem sit gravitatis specificæ, diversitas prius per ponderationem ejusdem solidi in eadem detegenda.*

SCHOLION 2.

85. *Notandum præterea, fieri nonnunquam posse, ut hydrostaticum examen solum adulterationem factam non prodat.* E. gr. *Cum stannum argento sit specifice levius, plumbum specifice gravius, duo hæc metalla (quod inferius expressius docetur) ita misceri possunt, ut eandem cum argento gravitatem specificam nanciscantur: quæ massa postmodum cum argento permixta examen hydrostaticum non verebitur. Unde apparet, quantitatem trium vel plurium miscibilium in uno mixto non eodem modo determinari, quo quantitas duorum invenitur* (§. 81.)

SCHOLION 3.

86. *Notandum denique, per varia experimenta addiscendam esse diversitatem, quæ in gravitate specifica corporum ejusdem speciei ad idem fluidum occurrere potest, antequam de adulteratione facta judicium feratur.*

PROBLEMA 9.

87. *Fluidum specifice gravius ponderare in specifice leviori.*

RESOLUTIO.

Sit e. gr. Mercurius in aqua ponderandus.

1. Assumatur vas vitreum v. gr. gravitatis 91, quod aqua plenum intra aquam ponderetur, noteturque pondus amissum 36: quod erit pondus aquæ ejusdem cum vitri massa voluminis (§. 55.).
2. Idem vas argento vivo repletum in aëre ponderetur, noteturque pondus 186.
3. Ponderetur etiam in aqua, ut habeatur pondus amissum 43: quod erit æquale ponderi aquæ ejusdem cum vitro & Mercurio simul sumto voluminis.
4. Quare si pondus aquæ ejusdem cum vitro voluminis 36 inde subtrahatur; relinquetur pondus aquæ ejusdem cum argento vivo voluminis, hoc est, pondus ab argento vivo in aqua amissum 7.

THEOREMA 17.

88. *Corpus specifice gravius in fluido specifice leviori ea vi descendit, quæ est excessus ponderis ejusdem supra pondus fluidi sub eodem volumine æqualis.*

DEMONSTRATIO.

Corpus in fluido nonnisi ea vi de-

Digitized by Google

descendit, quæ ipsi relinquitur, demta parte in resistentiam fluidi vincendam impensa. Quamobrem cum hæc æqualis sit ponderi fluidi sub eodem volumine (§. 55); nonnisi excessu ponderis sui supra pondus fluidi sub eodem volumine descendit. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

89. Quoniam vis ad sustentandum corpus in fluido requisita æqualis est vi, qua nititur deorsum in eodem; Vis, quæ corpus specifice gravius in fluido sustentat, æqualis est excessui gravitatis absolutæ supra gravitatem fluidi sub eodem volumine. E. gr. Cuprum librarum $47\frac{1}{7}$ in aqua amittit de pondere suo $5\frac{1}{7}$ libras: vis ergo 42 librarum id sustentare valet.

COROLLARIUM 2.

90. Quare cum excessus ponderis solidi supra pondus fluidi specifice gravioris minor sit, quam supra pondus specifice levioris sub eodem volumine; in specifice graviore vi minore descendit, quam in leviore, consequenter etiam in hoc celerius, in illo tardius descendit.

COROLLARIUM 3.

91. Quamobrem in specifice graviori fluido minor vis requiritur ad corpus aliquod sustentandum, ne fundum petat, quam in specifice leviori (§. 89).

PROBLEMA 10.

92. *Data solidi submersi gravitate absoluta datoque volumine, determinare vim, qua in fluido attolli potest.*

RESOLUTIO.

1. Exploretur pondus unius pedis cubici aquæ (§. 63): unde,
2. Ob datum solidi submersi volumen, per regulam trium inveniri potest pondus aquæ idem cum ipso volumen habentis.
3. Hæc ergo si subducatur a gravitate corporis submersi data, relinquetur vis, quæ ipsum in aqua sustentare valet (§. 89), adeoque tantillo aucta attollet.

Sit pondus corporis submersi 3000 librarum, volumen 40 pedum cubicorum. Cum pes cubicus aquæ sit 70 librarum (§. 64); erit pondus aquæ idem cum submerso volumen habentis 2800: quod ex 3000 subductum relinquit vim sustentantem 200 librarum.

SCHOLION.

93. *Hinc patet ratio, cur corpora quædam, quæ scilicet ad gravitatem specificam fluidi propius accedunt (§ 90) in fluido isto exigua vi sustententur, qua plurimorum vires conjunctas in aere superant.*

CAPUT IV.

DE GRAVITATIONE CORPORUM SPECIFICE LEVIORUM IN FLUIDO GRAVIORI.

THEOREMA 18.

94. *Corpus specifice levius in fluido graviore mergitur, donec pondus fluidi sub volumine partis immersæ, æquetur ponderi totius corporis.*

DEMONSTRATIO.

Cum enim columnæ quantælibet, in quas fluidum concipitur divisum, æquiponderent, (§. 34); si corpus solidum eidem imponitur, perinde est ac si columnæ uni tantum ponderis accessisset, quantum est fluidi sub eodem volumine, consequenter columna ista præponderat (§. 35). Cedunt ergo columnæ collaterales (§. 75. *Mechan.*) corpusque solidum immergitur. Quamprimum vero corpus ea sui parte immersum, ut fluidum ejectum ex spatio, quod occupat, pondere æquale sit gravitati totius corporis; columna ista non amplius præponderat. Corpus itaque ita immersum ab aqua sustentatur. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

95. Quia gravitates specificæ corporum ejusdem ponderis sunt reciproce ut volumina (§. 29), volumina vero fluidorum pondere æqualium sunt partes immersæ ejusdem solidi (§. 94); gravitates specificæ fluidorum reciproce sunt ut partes immersæ ejusdem corporis.

COROLLARIUM 2.

96. Solidum ergo profundius mergitur in fluido leviori, quam in graviori.

COROLLARIUM 3.

97 Quo majorem rationem solidi gravitas specifica ad fluidi specifice levioris gravitatem habuerit; eo profundius corpus mergitur. (§ 203. *Arithm.*).

COROLLARIUM 4.

98. Si solidum fuerit ejusdem gravitatis specificæ cum fluido, corpus totum submergitur & datum intra fluidum locum servat.

CO-

Digitized by Google

COROLLARIUM 8.

99. Si corpus specifice levius in fluido graviori totum submergitur, a columnis collateralibus ea vi ad ascensum urgetur, quæ æqualis est excessui fluidi, volumine solido æqualis, supra pondus solidi (§. 75 *Mechan.*).

COROLLARIUM 9.

100. Corpus igitur specifice levius fundo vasis incumbens non attollitur, nisi fluidum gravius affusum ultra partem assurgat, quæ volumine æqualis est fluido ejusdem cum solido toto ponderis.

THEOREMA 19.

101. *Gravitas specifica solidi est ad gravitatem specificam fluidi, in quo mergitur, ut volumen partis immersæ ad volumen integrum.*

DEMONSTRATIO.

Volumen enim fluidi solido toti pondere æqualis æquatur volumini partis immersæ (§. 94). Cum itaque gravitates specificæ æquiponderantium sint reciproce ut volumina (§ 29); erit gravitas specifica solidi ad gravitatem fluidi, in quo mergitur, ut volumen partis immersæ ad volumen integrum. *Q. e. d.*

THEOREMA 20.

102. *Solidorum æquiponderantium partes in fluido graviori immersæ sunt æquales.*

DEMONSTRATIO.

Etenim pars immersa solidi A æqualis est volumini fluidi, quod ejusdem cum toto corpore A ponderis, & pars immersa solidi B æqualis est volumini fluidi, quod ejusdem cum toto corpore B ponderis (§ 94). Est vero gravitas solidi A æqualis gravitati solidi B *per hypoth.* & fluidum idem *per hypoth.* consequenter gravitas fluidi expulsi eadem. Ergo pars immersa ipsius A est æqualis parti immersæ ipsius B. *Q. e. d.*

THEOREMA 21.

103. *Solidorum æqualium gravitates specificæ sunt ut partes eorundem in eodem fluido demersæ.*

DEMONSTRATIO.

Solidorum A & B partes in eodem fluido demersæ sunt ut gravitates fluidi expulsi (§. 130. *Mechan.*), adeoque ut gravitates absolutæ corporum A & B (§ 94). Sunt vero volumina A & B eadem *per hypoth.* Ergo gravitates specificæ sunt ut absolutæ (§. 26), consequenter gravitates specificæ solidorum æqualium A & B sunt

Digitized by Google

ut partes immersæ (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

PROBLEMA 11.

104. *Data gravitate pedis cubici fluidi e. gr. aquæ, una cum volumine partis immersæ solidi, invenire pondus totius corporis.*

RESOLUTIO.

Quia pondus corporis solidi æquale est ponderi fluidi, quod idem cum parte immersa volumen habet (§. 94); ad pedem cubicum, volumen partis immersæ & gravitatem pedis cubici unius fluidi quærendus est numerus quartus proportionalis, qui erit pondus totius corporis.

E. gr. Pes cubicus aquæ est 70 librarum, (§. 64). Si itaque fuerit volumen partis immersæ 40 pedum cubicorum; reperietur pondus totius corporis 2800 librarum.

PROBLEMA 12.

105. *Data gravitate e. gr. unius pedis cubici aquæ & gravitate solidi, invenire volumen partis immergendæ.*

RESOLUTIO.

Cum sit ut gravitas unius pedis cubici aquæ ad pondus integrum corporis, ita pes cubicus unus ad volumen partis immergendæ (§. 94); tribus terminis in analogia datis, *per hypoth.* quartus per regulam trium invenitur.

E. gr. Sit gravitas corporis 3000 librarum: quia pes cubicus aquæ est librarum 70 (§. 64), reperietur volumen partis immergendæ pedum cubicorum $42\frac{6}{7}$.

PROBLEMA 13.

106. *Datis gravitate & volumine solidi specifice levioris una cum gravitate fluidi specifice gravioris, invenire vim, qua illud sub hoc demersum detinetur.*

RESOLUTIO.

Quoniam vis ista æqualis est excessui ponderis fluidi sub eodem volumine, quod habet solidum submersum, supra pondus hujus (§. 99),

1. ex datis volumine solidi & gravitate unius pedis cubici aquæ quæratur per regulam trium gravitas fluidi sub æquali volumine.
2. Inde subtrahatur pondus solidi, ita nimirum vis quæsita relinquetur.

E. gr. Quæritur, qua vi opus sit ad corpus 100 librarum, cujus volumen 8 pedum, sub aquis detinendum. Quoniam pes cubicus aquæ est 70 librarum (§. 64);

(§. 64); pondus aquæ sub volumine 8 pedum est 560. Unde si subducatur pondus solidi 100, relinquitur vis ad detinendum solidum sub aqua 460 librarum.

COROLLARIUM.

107 Quoniam corpus specifice levius eadem vi ascendit in fluido graviori, qua ad ascensum ejus impediendum opus est (§. 75. *Mechan.*); per præsens problema invenitur quoque vis, qua solidum specifice levius in fluido graviori ascendit.

PROBLEMA 14.

108. *Instrumentum construere, quo explorare licet, quantum salis in aqua data contineatur.*

RESOLUTIO.

Fig. 13. 1. Ex tenui lamina cuprea construatur globus AB cum tubo BC ejus cavitatis, ne in aqua pura totus mergatur.

2. Granula plumbea globo AB indantur, donec instrumentum in D usque immergatur.

3. Pondus totius aquæ, in qua mergitur, dividatur per 99: quotus indicabit, quantum salis sit in ea dissolvendum, ut partem ponderis centesimam absolvat.

4. Postquam igitur tantum salis in aqua fuerit dissolutum, instrumentum denuo in ea mergatur noteturque punctum E, quod hæret in superficie aquæ salsæ. Ita nimirum constabit terminus immersionis in aqua, quæ sub volumine 100 librarum salis libram unam comprehendit.

5. Quodsi eodem modo inveniantur puncta alia F, G &c. quæ indicent terminos immersionis in aqua, sub volumine 100 librarum duas, tres, quatuor &c. libras salis continente; instrumento hoc explorare poteris, quantum salis in aqua data contineatur.

DEMONSTRATIO.

Quodsi enim instrumentum in aqua salsa mergatur, statim apparebit, quot libræ salis in aqua salsa centum librarum contineantur. Quamobrem si pondus aquæ salsæ exploretur, per regulam trium invenitur quantitas salis in ea dissoluti. *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

109. *Ut problema præsens rectius intelligatur, exemplo sequente id illustrare libet. Sit gravitas aquæ puræ 2000 scrupulorum. Divide 2000 per 99, quotus* $20\frac{20}{99}$ *indicabit, quot scrupula salis in aqua dissolvenda, ut ponderis centesimam partem constituat. Divide ulterius*

2000

2000 *per* 98, *quoti* 20$\frac{40}{98}$ *duplum* 40$\frac{80}{98}$ *indicat, quantum salis in aqua sit dissolvendum, ut sit* $\frac{2}{100}$ *totius ponderis. Divide similiter* 2000 *per* 97, *quoti* 20$\frac{60}{97}$ *triplum* 61$\frac{63}{97}$ *indicat, quantum salis in aqua dissolvi debeat, ut sit* $\frac{3}{100}$ *totius ponderis* &c. *Enimvero cum non sine tædio ad singula divisionum puncta invenienda aqua pura uti liceat; numerum sequentem continuo subduc a proxime præcedente, residuum enim indicabit, quantum adhuc salis sit addendum ad inveniendum punctum proxime sequens.* E gr. *ubi in aqua dissolveris salis* 30$\frac{20}{99}$ *pro inveniendo puncto* E: *ut alterum* F *reperias, addenda sunt insuper scrupula* 20$\frac{2}{9}$ *fere, quæ est differentia inter* 20$\frac{20}{99}$ & 40 $\frac{70}{98}$.

SCHOLION 2.

Fig. 14. 110. *Similia instrumenta ex vitro construi solent, tubo* BC *in partes æquales diviso & hermetice in* C *sigillato, globo vero geminato, ad examinandam fluidorum gravitatem specificam* (§ 95).

PROBLEMA 15.

111. *Data gravitate vasis ex materia specifice graviori parandi & gravitate fluidi specifice levioris, determinare cavitatem, quam habere debet, ut fluido supernatet.*

RESOLUTIO.

Cum detur pondus fluidi sub volumine unius pedis cubici, *per hypoth.* volumen fluidi vasi pondere æqualis per regulam trium inveniri potest. Quodsi ergo cavitas paulo major fiat, vas sub eodem volumine minus ponderis continebit, quam fluidum, adeoque eodem specifice levius erit (§. 5), consequenter ipsi supernatabit (§. 94).

E. gr. Sit parandus globus ferreus aquæ supernatans, cujus pondus 30 librarum. Quia pondus unius pedis cubici est 70 librarum, reperietur volumen aquæ 30 librarum 428''571''', adeoque cubus diametri sphæræ 818925 (§. 551. *Geom.*): unde radix cubica extracta 9''3''' est diameter sphæræ aqueæ 30 librarum. Quodsi ergo diameter cavitatis fiat paulo major e. gr. unius pedis, eo minor ipsius pars mergetur, quo major fuerit diameter.

PROBLEMA 16.

112. *Invenire gravitatem fluidi idem cum corpore quodam specifice leviori volumen habentis, cujus pondus datur.*

RESOLUTIO.

1. Ponderetur corpus quodcunque solidum specifice gravius in fluido dato, ut habeatur pondus fluidi sub eodem volumine (§. 55).
2. Hoc corpus combinetur cum altero specifice leviori, quam fluidum, & massa utriusque simul in eodem fluido ponderetur, ut habeatur pondus fluidi idem cum utraque massa volumen habentis (§. *cit.*).

3. Quodsi

3. Quodſi itaque ab hoc pondere ſubducas pondus fluidi primo inventum, relinquetur pondus fluidi idem cum corpore ſpecifice leviori volumen habentis.

E. gr. Sit in aqua ponderanda cera 15 librarum. Quoniam plumbum $60\frac{1}{2}$ librarum amittit in aqua $5\frac{1}{3}$; idem vero plumbum ceræ 15 librarum conjunctum amittit $21\frac{1}{3}$; reperietur pondus aquæ idem cum cera volumen habentis 16 librarum.

THEOREMA 22.

113. *Vis, quæ requiritur ad vas vacuum* DFEG *ad lineam* AC *in aquam immergendum, ad quam aqua plenum immergitur, æquatur vi tantundem aquæ in aëre ſuſtentanti.*

DEMONSTRATIO.

Vis aquam in aëre ſuſtentans gravitati ejus æqualis eſt. Sed vis vas vacuum DFGE ad lineam AC in aquam immergens æquatur gravitati aquæ vas replentis, quia eadem ad eandem lineam AC vas immergit, *per hypoth.* Ergo hæc vis æquatur alteri, quæ aquam in vaſe contentam in aëre ſuſtentare valet.

THEOREMA 23.

114. *Vis, quæ impenditur in ſolidum ſpecifice levius ſub fluido graviori detinendum, itemque pondus a ſolido graviori in fluido leviori amiſſum, gravitati fluidi accreſcit & cum ea ponderat.*

DEMONSTRATIO.

Vis enim, quæ impenditur in ſolidum ſpecifice levius ſub fluido graviori detinendum, premit fluidum ſubjectum, adeoque perinde eſt, ac ſi maſſa tantundem premens eidem imponeretur. Sed hæc maſſa utpote unum grave cum fluido conſtituens una cum eodem ponderaret. Ergo & vis eidem æquivalens cum fluido ponderare debet. *Quod erat unum.*

Pars ponderis a ſolido ſpecifice graviori in fluido leviori amiſſum a fluido ſuſtentatur, ceu patet ex demonſtratione theorem. 14. (§. 55). Sed pondus, quod fluido incumbit, unum cum eodem totum conſtituit, adeoque perinde cum eo gravitare debet, ac ſi maſſa fluidi tantundem ponderans affunderetur. *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM 1.

115. Hinc problema 13. (§. 106) etiam experimentando reſolvere licet.

COROLLARIUM 2.

116. Liquet etiam, vim nullam perdi; ſed tantum aliorſum impendi in corporum gravitatione.

Digitized by Google

SCHOLION.

217. *Præsens theorema, si volupe fuerit, non minus ac præcedentia omnia experimentis facile comprobantur. Respondent experimenta in istiusmodi materiis Examinibus arithmeticis, uti jam innuimus in Arithmeticæ Elementis* (§ 125).

THEOREMA 24.

118. *Si corpus specifice levius quodam fluido cum corpore, quod eodem specifice gravius est, quomodocunque conjungatur, ut unum absque altero moveri non possit, fueritque excessus fluidi istius supra pondus specifice levioris in eodem demersi sub pari volumine æqualis excessui ponderis specifice gravioris supra pondus fluidi sub eodem volumine; corpora ista simul sumta eandem cum fluido gravitatem specificam habent.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam enim gravitas corporis specifice gravioris tantum excedit gravitatem fluidi sub eodem volumine, quantum gravitas fluidi excedit gravitatem corporis specifice levioris sub eodem volumine *per hypoth.* in volumine fluidi, quod voluminibus utriusque corporis simul sumtis æquale est, tantundem præcise gravitatis inest, quanta est gravitas utriusque corporis simul. Quamobrem cum corpora ista ita conjuncta, ut unum absque altero moveri non possit *per hypoth.* adeoque vi gravitatis suæ simul deorsum nitantur (§ 4. *Mechan.*), consequenter quoad gravitationem pro uno eodemque corpore haberi debeant; simul sumta eandem cum fluido isto gravitatem specificam habent (§ 5. 6). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

119. Quia solidum ejusdem gravitatis specificæ cum fluido, in eodem totum submergitur & datum intra fluidum locum servat (§ 98); corpora diversæ gravitatis specificæ inter se & cum fluido in hypothesi theorematis tota simul in fluido demerguntur datumque intra ipsum locum servant, consequenter nec ascendunt, nec descendunt.

THEOREMA 25.

120. *Vis corpus solidum in fluido specifice leviori demersum detinens est ad gravitatem corporis ut excessus voluminis supra partem, qua in fluido isto mergitur, ad hanc partem.*

DEMONSTRATIO.

Quodsi in volumine corporis tantundem gravitatis contineretur, quantum in æquali volumine fluidi inest; totum in eodem submer-

mergeretur & datum in eodem locum servaret vi nulla extrinsecus accedente (§. 98). Quare cum sub volumine fluidi, quod parti immersæ solidi æquale est, tantum gravitatis insit, quantum per totam corpus diffunditur (§. 94); vis, quæ extrinsecus superaccedere debet, ut solidum in dato loco intra fluidum detineatur, æqualis est gravitati fluidi per volumen diffusæ, quod æquale est excessui corporis solidi integri supra partem, qua in fluido mergitur vi gravitatis propria. Enimvero in fluido tanquam gravi homogeneo gravitas est volumini proportionalis (§ 131. *Mechan.*). Ergo vis ad corpus solidum in fluido specifice leviori detinendum requisita est ad gravitatem totius solidi uti excessus voluminis supra partem in eodem vi gravitatis propriæ immersam ad hanc partem immersam. *Q. e. d.*

THEOREMA 26.

121. *Vis corpus solidum in fluido specifice graviori demersum detinens est ad gravitatem corporis ut differentia gravitatem specificarum solidi atque fluidi ad gravitatem specificam solidi.*

DEMONSTRATIO.

Est enim gravitas specifica fluidi ad gravitatem specificam solidi ut volumen totius solidi ad partem ejus, qua in fluido vi gravitatis propriæ demergitur (§. 101). Ergo differentia gravitatum specificarum fluidi & solidi est ad gravitatem specificam solidi ut excessus voluminis solidi supra partem immersam ad hanc ipsam partem (§. 193. *Arithm.*). Quoniam itaque vis in fluido corpus specifice levius suspensum detinens est ad gravitatem ejus ut excessus voluminis supra partem, qua vi gravitatis suæ in eodem demergitur (§. 120); erit etiam eadem vis ad gravitatem corporis ut differentia gravitatum specificarum solidi ac fluidi ad gravitatem specificam solidi (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

PROBLEMA 27.

122. *Dato pondere corporis fluido specifice gravioris una cum parte ejusdem in fluido amissa dataque ratione gravitatis specificæ fluidi ac corporis alicujus specifice levioris, invenire pondus ejusdem, quod requiritur ut specifice graviori quomodocunque conjunctum idem intra fluidum in dato quocunque loco detineat.*

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Subtrahatur pars ponderis,

 quam

quam corpus solidum specifice gravius in fluido leviori amittit, a pondere corporis dato, ut relinquatur vis, quæ solidum intra fluidum in dato loco detinere potest (§. 75. *Mechan.*).

2. Ex data gravitate specifica fluidi & corporis specifice levioris atque vi ad sustentandum specifice gravius intra fluidum modo reperta, seu, quod perinde est, ad detinendum specifice levius a graviori requisita investigetur gravitas totius corporis specifice levioris: quod vi theorematis præcedentis (§ 121) per regulam trium, (§. 302. *Arithm.*) reperiri potest. *Q. e. i. & d.*

COROLLARIUM 1.

123. Quoniam solidum ejusdem gravitatis specificæ est cum fluido, quod datum intra fluidum locum servat (98), cum specifice gravius in eodem descendat (§. 88), specifice levius aliqua tantum sui parte mergatur (§. 94); per præsens problema patet, quomodo combinando duo corpora, quorum alterum fluido specifice levius, alterum specifice gravius, efficiatur corpus eandem cum fluido gravitatem specificam habens.

COROLLARIUM 2.

124. Si pondus corporis specifice levioris tantisper augeatur specifice gravius ad superficiem fluidi attollet.

SCHOLION.

125. *Theorema præsens cum ejus corollario etiam per theorema 28 (§. 118) demonstrari poterat.*

THEOREMA 27.

126. *Vis corpus solidum in fluido specifice leviori sustentans est ad pondus ejusdem ut differentia gravitatum specificarum illius ac fluidi ad gravitatem specificam solidi.*

DEMONSTRATIO.

Est enim gravitas specifica solidi ad gravitatem fluidi ut pondus integrum solidi ad partem ejus in fluido amissam (§. 59). Quamobrem convertendo erit ut differentia gravitatum specificarum ad gravitatem solidi, ita excessus solidi supra fluidum ad pondus solidi integrum (§. 193. *Arithm.*). Est vero excessus solidi supra fluidum æqualis vi ad solidum intra fluidum sustentandum requisitæ (§. 89). Ergo hæc vis est ad pondus integrum solidi sustentandi ut differentia gravitatum specificarum ad gravitatem solidi. *Q. e. d.*

PROBLEMA 18.

127. *Datis gravitate & volumine solidi specifice levioris una cum gravitate unius pedis cubici fluidi specifice gra-*

Digitized by Google

gravioris, nec non gravitate specifica ejusdem fluidi & corporis solidi eodem specifice gravioris, invenire quantum hujus pondus esse debebat ut specifice leviori quomodocunque conjunctum idem intra fluidum in dato quocunque loco detineat.

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Ex datis gravitate & volumine solidi specifice levioris una cum gravitate unius pedis cubici fluidi specifice gravioris inveniatur vis ad solidum in fluido detinendum requisita (§. 106): quæ erit excessus solidi specifice gravioris supra pondus fluidi mole æqualis (§. 89). Unde

2. ex data ratione gravitatum specificarum solidi specifice gravioris & fluidi atque vi ista seu excessu prædicto invenitur pondus solidi specifice gravioris cum leviori conjungendum, ut idem in fluido sustentet (§. 118). *Q. e. i. & d.*

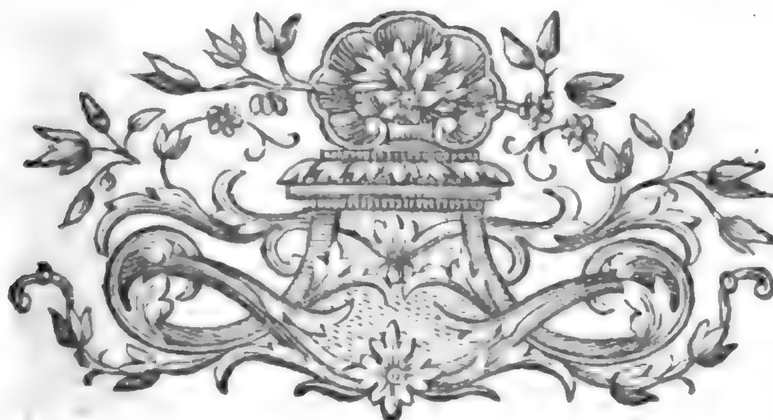
COROLLARIUM.

128. Quodsi solidi specifice gravioris pondus tantisper augeatur, cum specifice leviori una descendet, seu specifice levius ad fundum secum abripiet.

SCHOLION.

129. *Non absimili modo plura alia problemata solvi possunt, quæ in philosophia experimentali & vita communi ac arte usum suum habere possint.*

FINIS HYDROSTATICÆ.

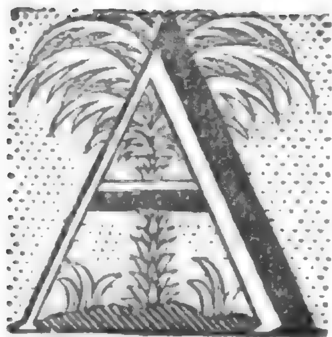


ELEMENTA
AEROMETRIÆ.

Digitized by Google

Digitized by Google

PRÆFATIO.



A multo jam tempore in more positum, ut Physicæ quædam capita in numerum disciplinarum Mathematicarum relata fuerint, postquam, facta ad experientias indubias Arithmeticæ, Geometriæ & Analyseos, hoc est, Matheseos puræ applicatione, formam mathematicam iis induere licuit. Non alia sane de causa Hydrostatica, Hydraulica, Optica cum Catoptrica atque Dioptrica, itemque Astronomia in numero isto comparent. Quamobrem cum multa de viribus atque affectionibus aëris more Geometrarum & ex principiis Matheseos puræ demonstrari, demonstrata ad varios usus dextre applicari possint; anno 1709. numerum disciplinarum Mathematicarum augere animum induxi, editis Aërometriæ Elementis, quæ anno sequente 1710. in Tomo secundo Elementorum Matheseos Germanicorum Hy-

droſtaticæ ſubjunxi, tanquam ejus filiam atque alumnam. Enimvero tanto majori jure locum ſemel adeptum tuetur, quod Hydraulica dudum in Matheſin recepta in multis opem ejus imploret. Quemadmodum enim Aërometriæ facem præfert Hydroſtatica; ita Aërometria Hydraulicam illuſtrat. Antequam igitur ad Aërometriam animum appellas, Hydroſtaticæ dogmatibus eundem imbuas opus eſt. Antequam ad Hydraulicam pedem promoveas, Aërometriam Tibi ſociam jungas e re tua omnino eſſe deprehendes. Jucundum vero eſt Aërometriæ ſtudium, idemque utiliſſimum, tum quod inde ratio plurimorum Naturæ phænomenorum deſumitur, tum quod variarum machinarum ac inſtrumentorum ſtructura in ea continetur. Ut brevitati conſulatur & ſequentia antecedentibus reſpondeant; non integra exhibeo Aërometriæ elementa, quæ ante quinque fere annos a me edita eſſe modo memini, ſed quæ digniora reliquis viſa ſunt, in compendio exhibere & nonnullis augere conſtitui. Cæterum Aërometriæ Elementa, æquis harum rerum arbitris conſentientibus, iis potiſſimum commendo, quibus curæ cordique fuerit, ad experimenta applicare Matheſin. Hunc fructum cupidis polliceor, & ut eundem conſequantur ex animo apprecor.

ELE-

Digitized by

ELEMENTA AEROMETRIÆ.

CAPUT I.

DE PRINCIPIIS AEROMETRIÆ.

DEFINITIO 1.

1. *Aerometria* est scientia metiendi aërem.

COROLLARIUM.

2. Cum metiri idem sit ac rationem quantitatum ad aliam homogeneam datam investigare (§. 23. *Geom.*); in Aërometria tradendæ sunt leges, juxta quas omnia de aëre conceptibilia & extensionis terminos vel intensitatis gradus habentia accurate determinari possunt.

DEFINITIO 2.

3. *Aër* est corpus fluidum Telluri circumfusum & spatia ab aliis corporibus in eadem relicta occupans, nisi impediatur.

SCHOLION.

4. *Definitionem aëris nonnisi nominalem tradere intendo. Sufficit igitur exhibuisse notam aëre præsente semper obviam, ex qua ejus præsentia certo colligi potest.*

DEFINITIO 3.

5. *Compressio* est coarctatio massæ in minus volumen per impulsum aut pressuram alterius corporis facta.

DEFINITIO 4.

6. *Condensatio* est coarctatio massæ in minus volumen vi frigoris facta.

DEFINITIO 5.

7. *Dilatatio* est expansio massæ in majus volumen, quam facta compressione habuerat.

DEFINITIO 6.

8. *Rarefactio* est expansio massæ in majus volumen vi caloris facta.

DEFINITIO 7.

9. *Elater aëris* est vis, qua vi comprimente sublata dilatatur.

AXIOMA 1.

10. *Quo corpus est gravius, eo magis premit alia sibi subjecta.*

Digitized by Google

SCHOLION.

11. *Patet ex definitione gravitatis* (§. 4. Mechan.). *Corpus scilicet vi gravitatis nititur deorsum, adeoque premit alterum descensui resistens. Quo majore itaque vi deorsum nititur, eo magis quoque premit alterum sibi subjectum.*

AXIOMA 2.

12. *Quamdiu dilatatio per elaterem facta eadem est, elater quoque immutatus sit necesse est: quodsi vero elater majorem dilatationem produxerit, crevisse; sin minorem, decrevisse censendus est.*

EXPERIENTIA 1.

13. *Promove celeriter manum per spatia, quæ vacua esse videntur, faciem versus; impetum quendam in eam fieri animadvertes, utut manus ipsam non contingat.*

COROLLARIUM.

14. Necesse est adeo, ut interstitia inter corpora terrestria, quæ vacua esse videntur, materia quadam repleantur, cujus partes sint admodum subtiles, cum non videantur, & inconnexæ, cum motum corporum non impediant. Spatia igitur in Tellure ab aliis corporibus derelicta fluidum aliquod subtilissimum occupat (§. 3. *Hydrostat.*) hoc est, aër datur (§. 3.).

EXPERIENTIA 2.

15. *Globo cupreo aut orichalceo satis capaci afferruminetur epistomium cum cochlea fœmina, ita ut syrinx mediante cochlea mari ad arbitrium ei adaptari rursusque removeri possit. Quodsi ope syringis plus aëris in globum intrudas, eumque clauso epistomio bilanci imponas, pondus ejus auctum deprehendes: ubi vero epistomium rursus aperies, aërem erumpere animadvertes & globus metallicus recuperabit pondus, quod ante intrusionem aëris habuerat.*

SCHOLION.

16. *Experimentum hoc excogitavit* Galilæus Galilæi, *lagena vitrea usus* (a); *sed cum vasa vitrea ab aëre compresso facile, nec sine periculo adstantium frangantur, ego metallico uti soleo, in gratiam curiosorum idem repetens.*

COROLLARIUM 1.

17. Quoniam in globum metallicum plus aëris intrudi potest, quam ordinarie capit; evidens est, aërem in minus volumen coarctari posse, quam ordinarie occupat. Comprimi ergo potest (§. 5.).

COROLLARIUM 2.

18. Cum epistomio aperto aër rursus egrediatur, ipsoque egresso pondus pristinum recuperet globus, quod ante compressionem aëris in ipso factam habuerat; certo

(a) Mechan. Dialog. I. p. m. 71.

Digitized by Google

certo hinc intelligitur, tantum præcise aëris rursus egressum, quantum intrusum fuerat. Aër itaque compressus ad pristinam expansionem redit; si vis comprimens aut expansioni resistens removeatur, adeoque elatere gaudet (§. 9.).

COROLLARIUM 3.

19. Certum itaque compressionis indicium est, quod aër intra vas quoddam magis compressus sit, quam externus, si orificio ejus aperto, cæteris paribus, aëris quædam portio egredi observetur.

COROLLARIUM 4.

20. Denique quia pondus vasis augetur, si aër intra ipsum comprimitur; massa aërea nisum exerceat opus est deorsum juxta lineas rectas ad horinzontem perpendiculares (§. 215. *Mechan.*) Gravis ergo existit (§. 4. *Mechan.*).

COROLLARIUM 5.

21. Premit ergo corpora subjecta secundum lineas rectas ad horizontem perpendiculares (§. 215. *Mechan.*)

EXPERIENTIA. 3.

22. *Quodsi vesicam aëre mediocriter repletam firmiterque constrictam ad ignem admoveas; ea non solum distenditur, sed & ingenti prorsus fragore tandem disrumpitur. Quodsi vero eam ab igne removeas, antequam disrumpatur, statim flaccida evadit.*

COROLLARIUM. 1.

23. Cum intra vesicam nil nisi pauculum aëris contentum fuerit; expansio vesicæ expansionem aëris inclusi arguit. Aër itaque rarefit (§. 8).

COROLLARIUM 2.

24. Quia calore exspirato vesica distensa rursus flaccida fit; frigore in volumen minus rursus coarctatur adeoque condensatur (§. 6.).

EXPERIENTIA 4.

25. *Si aër in vase comprimatur, ejus quandam portionem aperto orificio ex ipso iterum exspirare notabis in quacunque orificii directione.*

COROLLARIUM.

26. Elater igitur aëris nititur quoquoversum secundum quamlibet directionem.

EXPERIENTIA 5.

27. *Si tubum oblongum* AB, *cujus altitudo 32 pedibus Rhenanis major, in* C *epistomio instructum & verticaliter erectum aqua repleas, orificium inferius* A *in aquam immergas & aperto orificio* B *epistomium aperias, aqua tota cum impetu effluit: si vero obturato orificio* B *epistomium* C *recludas, aqua usque ad* D *descendit, ac in altitudine 31 pedum Rhenanorum ultra libellam aquæ in vase* GH *contentæ pendula hæret.* Tab. I. Fig. 1.

Digitized by Google

COROLLARIUM.

28. Quoniam aqua intra tubum AB pendula aquam in vasculo sibi subjectam premit, nec tamen descendit; necesse est, ut, si aqua in vasculo contenta in istiusmodi columnas divisa concipiatur, qualis est, quæ tubo AB subjacet, singulæ æquali vi premantur. Sed circa tubum superficiei aquæ incumbit aër (§. 3.) eamque premit (§. 21.). Columna igitur aërea a superficie aquæ in vasculo contentæ usque ad extremitatem atmosphæræ extensa eandem habet gravitatem cum cylindro aqueo super eadem basi, sed altitudinis 31 pedum Rhenanorum (§. 36. *Hydrost.*).

SCHOLION.

29. *Hoc æquilibrium aëris cum aqua primus observavit hortulanus quidam Florentinus, aquam in antlia tractoria ultra 18 cubitos attolli non posse miratus, atque cum* Galilæo *phænomenon insperatum communicavit Ipse causam ejus ignorans.* (b) *Iterarunt hoc experimentum complures, quos inter* Mariottus (c) *altitudinem aquæ in tubo pendulæ reperit 32 pedum Parisiensium.* Evangelista Torricellus, *discipulus* Galilæi, *aquæ substituit Mercurium, cujus altitudo utpote quatuordecies gravioris aqua reperitur 28 circiter digitorum Rhenanorum* (§. 36. Hydrostat.).

CAPUT II.
DE
ELATERE ET GRAVITATE AERIS.

THEOREMA I.

30. *Elater aëris inferioris æquatur ponderi totius superioris ipsi incumbentis.*

DEMONSTRATIO.

Aër enim superior premit inferiorem (§. 21.). Elater vero æquatur ponderi prementi (§. 553. *Mechan.*). Ergo elater aëris inferioris æquatur ponderi totius superioris ipsi incumbentis. *Q. e. d.*

COROLLARIUM I.

31. Quoniam pondus aëris superioris inferiori incumbentis æquatur ponderi columnæ aqueæ, cujus eadem cum volumine aëris basis, sed altitudo 31 pedum (§. 28), vel etiam columnæ Mercuriali, cujus altitudo 28 digitorum (§. 29.); elater aëris inferioris eidem columnæ aqueæ & mercuriali æquatur.

SCHO-

(b) Mechan. Dial. 1. p. m. 15. 16.
(c) Trait. du mouvement des Eaux part. 2. disc. 1. p. 9.

Digitized by Google

SCHOLION.

32. *Pondus hujus columnæ aqueæ vel mercurialis dicemus in posterum brevitatis gratia* pondus atmosphæricum.

COROLLARIUM 2.

33. Elater aëris inclusi, si cætera cum ambiente externo paria sint, æquatur similiter ponderi totius superioris incumbentis.

COROLLARIUM 3.

34. Inclusus adeo aër eadem vi premit, qua pondus atmosphæricum.

COROLLARIUM 4.

35. Ergo etiam hic Mercurium, ad altitudinem 28 digitorum, aquam vero ad altitudinem 31 pedum in tubo vacuo suspendit (§. 28. 29.).

THEOREMA 2.

36. *Si vas aliquod ab aëre vacuum prope Tellurem aperiatur, aër ambiens externus extemplo in cavitatem ejus ruet eamque replebit.*

DEMONSTRATIO.

Est enim aër in statu compressionis (§. 28.), cumque elatere gaudeat (§. 18.), ad majorem continuo expansionem nititur (§. 9.) & quidem quoquoversum (§. 26.). Quare cum intra vas vacuum nisui huic nihil resistat, expansio per cavitatem vasis actu sequetur (§. 75. *Mechan.*). Et quia si aliquod spatium vacuum intra cavitatem vasis ab aëre irruente non occupatum supponamus, illud instar vasis vacui intra aërem aperti considerari potest, aër in vas irruens etiam hoc spatium replere debet. Si itaque vas aliquod ab aëre vacuum prope tellurem aperiatur, aër ambiens externus extemplo in cavitatem ejus ruit eamque replet. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

37. Si ergo syrinx orificio alicujus vasis firmiter infigatur & embolus postea extrahatur, aër in vase contentus per siphonis cavitatem expandetur.

DEFINITIO 8.

38. *Antlia pneumatica* est machina, qua mediante aër ex vasis educi potest.

SCHOLION.

39. *Primus antliæ pneumaticæ inventor est* Otto de Guericke, *Consul Magdeburgicus, qui experimenta sua jam sub finem comitiorum imperialium anno 1654. Ratisbonæ celebratorum in præsentia Imperatoris, Electorum ac Principum quorundam iteravit* (d). *Utut vero inter exteros non desint, qui laudem inventionis* Roberto Boylio, *experimentatori celeberrimo, tribuunt, quos inter ex Anglis* Robertus Hookius, *recensente* Cl. Wallero (e), *& ex Gallis,*

(d) Vid. Præfatio ad Experimenta nova Magdeburgica.
(e) in Vita Hookii operibus ejus posthumis præmissa f. 3.

lis, Johannes Baptista du Hamel. *variis scriptis celebris* (f); *ipse tamen* Boylius *pro eo, qui decet virum doctum, candore* (g) *agnoscit, quod* Otto de Guericke *ipsum prævenerit, quodque ipse ab iis, quæ* Casparus Schottus *in Mechanica Hydraulico-pneumatica A.* 1657. *edita de vasis vitreis a* Guerickio *ab aëre evacuatis publicaverat, ad sua experimenta & antliæ pneumaticæ constructionem incitatus fuerit. Structuram immutavit ipse* Guerickius (h): *aliud artificium embolum extrahendi applicuit* Boylius, *quo nunc ordinarie utuntur. Recentius structuram antliæ pneumaticæ immutavit* Haucksbejus, *Mechanicus Anglus, cujus formam describit* Cel. Gravesandius (i), *ipseque inventor delineat* (k).

PROBLEMA I.

40. *Antliam pneumaticam construere.*

RESOLUTIO.

1. Paretur cylindrus AB ex orichalco, intus cavus & satis capax, cujus interior superficies optime polita, ut embolus DE arctissime ipsam undique contingat, ne ulli moleculæ aëreæ inter eam & embolum locus relinquatur.

2. Embolus constare debet ex orbibus coriaceis firmiter sibi mutuo appressis mediante cochlea orbi orichalceo E afferruminata. Corium optimum est bubulum, ex quo succingula militum parari solent. Probe autem notandum est, corium imbibere debere oleum olivarum tertiæ parti pinguedinis suillæ excoctæ permixtum, ne successu temporis indurescat.

3. Embolo affigatur lamella ferrea dentata DC, ut ope rotulæ dentatæ manubrio NO versato commode extrahi ac intrudi possit.

4. In B afferruminetur basi cylindri tubulus BFKL cum epistomio GHI ex cylindro cavo HF & operculo cylindrico solido I composito.

5. Denique tubulus KL in L instruatur cochlea, ut vasa, quorum orificia cochleis fœminis seu matricibus instructa, ad eundem firmari possint. Eodem modo adaptandus est, quoties usus postulat, catinus orichal-

(f) In Philos. Vet. & Nov. Tom. 4. Phys. gener. Tract. 2. differt. 3. c. 10. p. m. 234.
(g) in præf. ad Nova Experim. Phys. Mech. de vi aëris elastica p. m. 3.
(h) in Exper. Magdeb. lib. 3. c. 4. f. 75. & seqq.
(i) in Elementis Physicæ Mathematicis Tom. 1. lib. 2. c. 6. p. 309. edit. sec.
(k) Physico-Mechanical Experiments p. 1. & seqq.

Digitized by Google

chalceos PQ, cui vitra campaniformia commode imponere liceat.

Dico ex vasis ad hanc machinam firmatis aërem educi posse.

DEMONSTRATIO.

Cum enim embolus CE extrahitur epistomio versus antliam AB & tubulum KL aperto, aër in vase contentus per tubuli LKGB & cylindri AB cavitatem expanditur (§.36.). Quodsi jam epistomium claudatur versus tubulum KL, sit tamen apertum versus antliam AB, & remoto operculo I embolus DE rursus intrudatur, aer per epistomium FH extruditur, consequenter aëris aliqua portio ex vase educta. Quo pluries itaque hæc operatio repetitur, eo plus aëris ex vase educitur. Ope adeo machinæ constructæ aër ex vasis educi potest. *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

41. *In usu antliæ notandum, embolum oleo olivarum illini & fundo catini orbem coriaceum bubulum (quali ad constructionem emboli utendum) probe madefactum & in medio perforatum applicandum esse, ut embolus facile extrahatur & antliam undiquaque arctissime contingat, vas vero evacuandum firmiter catino apprimatur.*

SCHOLION 2.

42. *In evacuandis vasis rationem habendam esse tantum vis elasticæ, ad quam solam in demonstratione respeximus, experimenta probant. Aërem enim, iteratis emboli agitationibus, continuo rariorem fieri, docet expansio vesicæ sub campana suspensa, firmiter constricto collo & nonnisi pauculo aëris intus relicto. Enimvero dilatationem tantum fieri per elaterem, nec quicquam conferre gravitatem, in Actis Lipsiensibus* (k) *ante triennium circiter experimento docui: quod hic repetere juvat. Fieri curavi tubum ex lamina orichalcea cochleæ afferruminatum, ut ad antliam firmari posset, atque fornicem vasis evacuandi fere attingentem. Quantum per hunc tubum aeris facta qualibet emboli agitatione ex vase educeretur, maxima cum circumspectione notavi: embolo enim intruso, donec aër in antlia contentus eandem cum externo densitatem haberet, numeravi dentes virgæ dentatæ extra antliam conspiciendos. Mox tubo isto remoto, evacuationem ejusdem vasis denuo tentavi: quam eadem prorsus ratione ut antea contingere didici. Usus autem sum vasis & majoribus, & minoribus eodem semper successu, estque diameter luminis in antlia mea 4 digitorum 6 linearum, longitudo cylindri 2 pedum Rhenanorum. Quoniam vero doctissimis Diarii Trevoltiensis collectoribus,* (l) *quorum erga me*

(k) A. 1711. mens. Jan. p. 14.
(l) Memoires pour l'Histoire des Sciences & des beaux Arts. Aout. 1711. art. 120. p. 1404.

Digitized by Google

me humanitatem ut gratus prædicem fas est, hoc experimentum non sufficere visum est ad vim gravitatis ab evacuatione vasorum excludendam; ideo (§. 47) *mox ex natura elateris id demonstrabimus, ut in Aërometria A. 1709. edita. Cæterum hæc ratio est, cur antliæ situs ad horizontem inclinatus esse possit, nec opus sit, ut, quod post* Guerickium *etiam* Boylius *&* *nuper* Hauksbejus *fecit, ut ad horizontem perpendicularis fiat.*

SCHOLION. 3.

43. *Aliud antliæ genus ex duplici cylindro construxit experimentator industrius* Franciscus Hauksbée, *cujus descriptionem exhibent Actorum Eruditorum collectores* (m). *Eam pro more suo in multis immutavit* Leupoldus *variis inventionibus mechanicis celebris* (n). *Sed cum in comprimendo aëre usus ejus sit nullus, qui tamen in experimentis frequens esse solet, nec vasa tam exacte evacuari posse videantur, quam antlia ordinaria utendo: ideo antiquum antliæ genus huic recentiori præferendum esse judico, nisi accedat medela.*

THEOREMA 3.

44. ***Aër Telluri circumfunditur, nec uno in loco altior esse potest quam in altero.***

DEMONSTRATIO.

Aut enim aër Telluri circumfunditur, aut non. Ponamus posterius. Dabitur ergo super aliqua Telluris parte spatium ab aëre vacuum. Jam cum aër vacuo huic contiguus existat, per spatium illud expandetur (§. 36.). Impossibile igitur, ut intra aërem sit spatium aliquod ab aëre vacuum. Tale vero cum necessarium foret ob rotunditatem Telluris, nisi aër eam undiquaque ambiret: necesse est aërem Telluri circumfundi. *Quod erat unum.*

Quodsi ponamus aërem uno in loco esse altiorem, quam in altero; aër vacuo contiguus statim expandetur (§. 36.), adeoque non quiescet nisi undiquaque eandem habuerit altitudinem. *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM 1.

45. Quare si cætera sint paria, duobus corporibus eandem basin habentibus in æqualibus a centro Terræ distantiis æqualia atmosphæræ pondera incumbunt, adeoque ab aëre incumbente æqualiter premuntur (§. 42. *Hydrost.*)

COROLLARIUM 2.

46. In æqualibus itaque a centro terræ distantiis, si cætera fuerint paria, aër eandem densitatem habet, adeoque sub æqualibus voluminibus massas æquales continet (§. 8. *Hydrost.*), consequenter æqualia volumina ejusdem gravitatis existunt.

THEO-

(m) Supplem. Tom. V. Sect. 9. p. 403. Confer Autores ante not. h & i citatos.
(n) Acta Erudit. A. 1713. p. 95.

Digitized by Google

THEOREMA 4.

47. *In eodem vase vel etiam in vasis communicantibus aër ubique eandem densitatem habet, si cætera paria fuerint.*

DEMONSTRATIO.

Aut enim eandem habet densitatem, aut non. Ponamus aërem in vase uno esse rariorem, in altero densiorem. Illius ergo densitas per pressuram minoris ponderis producetur, hujus per pressuram majoris. Ast elater aëris æquatur ponderi prementi (§. 553. *Mechan.*). Ergo in aëre rariore minor vis elastica, quam in densiore. Quare cum aër uterque vi elateris quaquaversum sese expandere nitatur (§. 26.); majore vi aër densior nititur versus rariorem, quam rarior versus densiorem. Ergo rarior cedens densiori (§. 75. *Mechan.*), comprimetur ab elatere densioris (§. 5.) & densior proprio elatere dilatabitur (§. 7.), nec reddetur aëri in utroque vase quies, nisi nisus aëris utrinque fuerit idem (§. 75. *Mechan.*), hoc est, nisi eandem densitatem habuerit, *per demonstrata*. Si igitur aër in utroque vase eandem densitatem non habuerit, cæteraque paria fuerint, ad eandem statim reducetur. In vasis igitur communicantibus, adeoque multo magis in eodem, ceteris paribus, aër ubique eandem densitatem habet. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

48. Quare si embolo ex antlia extracto aër ex vase ad ipsam firmato in cavitatem ejus ruit (§. 36.); qui cavitatem antliæ replet cum eo, qui in vase evacuando residuus, densitatem eandem habet.

COROLLARIUM 2.

49. Est ergo massa aëris intra cavitatem antliæ contenti ad massam aeris in vase evacuando residui ut capacitas antliæ ad capacitatem vasis (§. 17. *Hydrost.*).

THEOREMA 5.

50. *In vase, quod per antliam evacuatur, semper est aër primitivus ad aërem residuum, ut aggregatum ex capacitate vasis & antliæ ad eam dignitatem elevatum, cujus exponens æquatur numero agitationum emboli, ad capacitatem vasis solius ad eandem dignitatem evectam.*

DEMONSTRATIO.

Dicatur aër a prima agitatione emboli residuus *aër residuus primus*; qui a secunda emboli agitatione restat, *aër residuus secundus* & ita porro.

Quoniam aër in vase contentus

est ad aërem in antlia contentum ut capacitas vasis ad capacitatem antliæ (§. 49.); erit etiam aggregatum ex aëre in vase & ex aëre in antlia contento, hoc est aër primitivus, ad aërem in solo vase contentum, hoc est residuum primum, ut aggregatum ex capacitate vasis & antliæ ad capacitatem vasis solius (§. 190. *Arithm.*). Similiter demonstratur, esse quantitatem aëris residui primi ad quantitatem residui secundi ut aggregatum ex capacitate vasis & antliæ ad capacitatem vasis solius; & in eadem ratione esse quantitatem aëris residui tertii &c. Ergo factum ex aëre primitivo in residuum primum, secundum, tertium, quartum &c. ad factum ex aëre residuo primo in secundum, tertium, quartum, quintum &c. ut factum ex capacitate vasis & antliæ junctim toties in se ducta emergens, quot numerus agitationum emboli unitates continet, ad factum ex capacitate vasis solius multoties itidem in se ducta enascens (§. 213 *Arithm.*) hoc est, ut dignitas aggregati ex capacitate vasis & antliæ junctim, cujus exponens est numerus agitationum emboli, ad capacitatem vasis solius ad eandem dignitatem evectam (§. 250. *Arithm.*), consequenter aër primitivus ad residuum ultimum earundem dignitatum rationem habet (§. 181. *Arithm.*). *Q. e. d.*

PROBLEMA 2.

51. *Dato numero agitationum emboli in antlia factarum una cum capacitate vasis & capacitate antliæ, invenire rationem aëris primitivi ad residuum.*

RESOLUTIO.

1. Ex Canone logarithmorum excerpatur logarithmus aggregati ex capacitate vasis & capacitate atntliæ una cum logarithmo capacitatis vasis solius.
2. Logarithmus posterior e priori auferatur &
3. Differentia in numerum agitationum emboli ducatur; erit factum logarithmus, cui in tabulis respondet numerus indicans, quoties aër primitivus contineat residuum quæsitum.

E. gr. Sit capacitas antliæ 580'', capacitas vasis 460''; erit aggregatum ex utraque 1040''. Sit numerus agitationum emboli 6; erit logarithmus rationis, quam habet aër primitivus ad residuum 6 (3. 0170333 — 2. 6627578) = 2. 1256530, cui in tabulis respondet numerus 134. Est igitur aër primitivus ad residuum ut 134 ad 1.

DE-

Digitized by Google

DEMONSTRATIO.

Sit capacitas vaſis $= v$, capacitas antliæ & vaſis ſimul $= a$, numerus agitationum emboli $= n$, aër reſiduus $= 1$. Quoniam aër primitivus ad reſiduum ut a^n ad v^n (§. 50.), erit etiam primitivus ad reſiduum ut $\frac{a^n}{v^n}$ ad 1 (§. 181. *Arithm.*), conſequenter ſi reſiduus 1, logarithmus primitivi eſt $n\ (la - lv)$ (§. 341. 343. *Arithm.*) *Q. e. d.*

PROBLEMA 3.

52. *Data capacitate vaſis evacuandi & capacitate antliæ, invenire numerum agitationum emboli ad aërem in data ratione dilatandum requiſitum.*

RESOLUTIO.

1. Excerpantur ex Canone logarithmorum logarithmi aëris primitivi, aëris reſidui, capacitatis vaſis & aggregati ex capacitate vaſis & capacitate antliæ.
2. Logarithmus aëris reſidui ſubducatur ex logarithmo aëris primitivi, ſimiliter logarithmus capacitatis vaſis auferatur ex logarithmo aggregati ex capacitate vaſis & capacitate antliæ.
3. Differentia prior dividatur per alteram. Dico, quotum eſſe numerum agitationum emboli quæſitum.

E. gr. Sit capacitas antliæ 580'', capacitas vaſis 460'', aër primitivus ad reſiduum ut 134 ad 11: reperietur numerus agitationum emboli (2. 1271048 — 0. 000000): (3. 0170333 — 2. 6627578) = 21271048 : 3542755 = 6.

DEMONSTRATIO.

Sit aër primitivus p, reſiduus r, reliqua ſint ut in demonſtratione problematis præcedentis: erit

$$p : r = a^n : v^n \text{ (§. 50.)}$$
$$lp - lr = nla - nlv \text{ (§. 341. 343. Arithm.)}$$
$$(lp - lr) : (la - lv) = n. \text{ Q. e. d.}$$

PROBLEMA 4.

53. *Data ratione aëris primitivi ad reſiduum una cum capacitate vaſis & numero agitationum emboli, invenire capacitatem antliæ.*

RESOLUTIO.

Sit aër primitivus ad reſiduum $= p : r$, capacitas vaſis $= v$, capacitas antliæ $= x$, numerus agitationum emboli $= n$; erit

$$p : r = (v+x)^n : v^n \text{ (§. 50.)}$$
$$lp - lr = nl(v+x) - nlv \text{ (§. 341. 343. Arithm.)}.$$
$$lv + (lp - lr) : n = l(v+x)$$

Inveniri adeo poteſt logarithmus ag-

Digitized by Google

aggregati ex capacitate vasis & antliæ, consequenter ipsum hoc aggregatum. Quare si hinc auferatur capacitas vasis, relinquetur capacitas antliæ.

E. gr. Sit $p : r = 134 : 1$, $v = 460''$, $n = 6$; erit $l(v + x) = 2\ 6627578 + 2.1271048 - 0,000000) : 6 = 266475,8 + 2\ 1271048 = 30172752$. Ergo vi Canonis $v + x = 1040''$, consequenter $x = 580''$.

THEOREMA 6.

54. *Numeri agitationum emboli, quibus ope duarum antliarum in eodem vase vel æqualibus vasis aër ad eandem rationem cum aëre primitivo reducitur sunt in ratione reciproca differentiarum Logarithmi vasis a Logarithmo aggregatorum ex capacitate vasis & capacitate antliarum.*

DEMONSTRATIO.

Sit ratio aëris primitivi ad residuum $= p : r$, capacitas vasis $= v$, antliæ majoris capacitas $= A$, minoris vero $= a$. Quoniam ratio aëris primitivi ad residuum in evacuatione per utramque antliam facta eadem *per hypoth* si numeri agitationum emboli fuerint m & n; erit $(v + A)^m : v^m = p : r$ & $(v + a)^n : v^n = p : r$ (§. 50.), consequenter $(v + A)^m : v^m = (v + a)^n : v^n$ (§. 167. *Arithm.*). Habemus itaque $ml(v + A) - mlv = nl(v + a) - nlv$ (§. 341. 343. *Arithm.*), consequenter $m : n = (lv + a) - lv : l(v + A) - lv$, hoc est, numeri agitationum emboli, quibus aër in eodem vase ope diversarum antliarum ad eandem rationem cum primitivo reducitur, sunt in ratione reciproca differentiarum logarithmorum vasis & aggregati ex vase & antlia. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

55. Dato igitur numero agitationum emboli, quibus in vase quodam dato ope antliæ datæ aër residuus reducitur ad rationem datam cum primitivo vel ex eodem prorsus educitur, inveniri potest numerus agitationum emboli, quibus ope alterius antliæ datæ in eodem vase aër residuus ad eandem rationem cum primitivo reducitur, vel ex eodem prorsus educitur.

PROBLEMA 5.

56. *Invenire pondus unius pedis cubici aërei.* Tab. I. Fig. 3.

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Vasis vitrei aut metallici BC satis capacis, figura sphærica, collo oblongo AB & epistomio D prædit pondus ad bilancem exactam exploretur, dum aëre ejusdem cum ambiente externo densitatis repletur. Quo facto

2. edu-

Digitized by Google

2. educatur aër (§. 40.)
3. Globi evacuati pondus denuo ad bilancem examinetur, quod
4. a pondere priore subductum relinquit pondus aëris educti.
5. Investigetur capacitas vasis (§. 556. *Geom.*) & ratio aëris residui ad primitivum (§. 51.): quibus datis, volumen aëris residui per regulam trium innotescet, a capacitate vasis subducendum, ut relinquatur volumen aëris educti. Quodsi antlia accurate fuerit constructa & tamdiu exerceatur, quamdiu aër evacuatur; volumen aëris residui tantillum reperietur, ut tuto negligi ipsaque capacitas vasis pro volumine aëris educti assumi possit.
6. Datis adeo pondere atque volumine aëris educti per regulam trium reperietur pondus unius pedis cubici aëris (§. 130. *Mechan.*).

SCHOLION.

57. *Methodo hac primum usus* Otto de Guericke (o) *& post-eum* Burcherus de Volder, *qui sequentia annotavit* (p). *Pondus vasis sphærici vitrei aëre admisso erat 7 libr. 1 Unc. 2 dr. 48 gr. aëre educto, 7 libr. 1 Unc. 1 dr. 31 gr. aqua admissa 16 libr. 12 Unc. 7 dr. 14 gr. Erat igitur pondus aëris 1 dr. 12 gr. seu 77 gr. pondus aquæ 9 libr. 11 Unc 5 dr. 43 gr. seu 74743 gr. consequenter ratio gravitatis specificæ inter aquam & aërem* 74743 : 77 = $970\frac{53}{77}$: 1. *Jam cum* Volderus *pedem cubicum aquæ deprehendisset 64 librarum, inferendo ut 970 ad 1 ita 64 libræ seu 1024 Unc. ad numerum quartum proportionalem, per regulam trium pondus unius pedis cubici aërei* $506\frac{70}{97}$ *seu 507 gr. fere, hoc est 1 Unc. 0 dr. 27 gr. reperit. Testatur autem, se usum esse bilance, quæ, etiamsi vel 25 aut 30 libræ utrique imponerentur lanci, grano uno alterove addito demtove, in hanc illamve partem manifeste præponderet.*

PROBLEMA 6.

58. *Dato corporis cujuscunque volumine una cum pondere ejusdem in aëre, invenire pondus ejusdem in vacuo.*

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Inveniatur pondus unius pedis cubici aëris (§. 56).
2. Per regulam trium ex eodem & volumine corporis dati investigetur pondus aëris mole huic æqualis (§. 130. *Mech.*).
3. Pondus hoc aëris subtrahatur a pondere corporis dato; quod relinquitur erit pondus ejusdem in vacuo (§. 55. *Hydrost.*). *Q. e. i. & d.*

E. gr.

(o) Experiment. de Vacuo lib. 3. c. 21. f. 101.
(p) in Quæstionibus Academicis de aëris gravitate thes. 52. p. 35. & seqq.

E. gr. Pondus unius pedis cubici aërei est 507 gr. (§. 57), pondus trium pedum cubicorum aquæ 210 librarum (§. 64 *Hydrost.*). Pondus trium pedum cubicorum aëris reperitur 1521 gr. seu 3 unc. 1 dr. 21 gr. Pondus adeo trium pedum cubicorum aquæ in vacuo 210 lib. 3 unc. 1 dr. 21 gr.

PROBLEMA 7.

59. *Data basi columnæ atmosphæricæ invenire pondus ejus.*

RESOLUTIO.

1. Basis data multiplicetur per altitudinem columnæ aqueæ ipsi æquiponderantis (§. 28.), ut habeatur volumen hujus columnæ (§. 539. 541.).

2. Quæratur ad volumina unius pedis cubici & columnæ illius atque pondus unius pedis cubici aquæ numerus quartus proportionalis, qui erit pondus columnæ aqueæ atmosphæricæ æquiponderantis (§. 130. *Mech.*), hoc est, pondus ipsius columnæ atmosphæricæ quæsitum.

E. gr. Sit diameter circuli 100''', erit area 7850''' (§. 429. *Geom.*). Quia altitudo columnæ aqueæ 3100''' (§. 27.); erit volumen ejus 24335'', consequenter, cum 10000'' sint 70 fere librarum (§. 64. *Hydrost.*) pondus ejusdem $1703\frac{45}{100}$ seu $1703\frac{9}{20}$ librarum. Circulus itaque, cujus diameter unius pedis, ab aëre eadem vi premitur, ac si pondus 1703 librarum incumberet.

COROLLARIUM.

60. Quodsi diameter sphæræ fuerit unius pedis, basis columnæ atmosphæricæ incumbentis est circulus, cujus diameter unius pedis. Quare cum hemisphærium inferius ab elatere aëris urgeatur, qui ponderi ejusdem columnæ æquatur (§. 31.); hemisphæria comprimuntur vi 3407 librarum.

THEOREMA 7.

61. *Diversa plana premuntur ab aëre in ratione magnitudinum.*

DEMONSTRATIO.

Pressio enim eadem, quæ foret, si aqua ad altitudinem 31 pedum Rhenanorum in plana subjecta gravitaret (§. 28.), consequenter pressiones diversorum planorum ab aere factæ sunt in ratione planorum istorum (§. 573. *Geom.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM. 1.

62. Quare si plana, quæ ab aëre premuntur, fuerint circuli; in ratione duplicata diametrorum premuntur (§. 409. *Geom.*)

COROLLARIUM 2.

63. Quoniam aër premit secundum lineas rectas ad horizontale planum perpendiculares (§. 215. *Mechan.*), superficies quomodocunque convexa, vel concava, aut ex convexo, concavo & plano

quo-

quomodocunque composita eadem premitur vi, qua premitur planum horizontale eidem subjectum, consequenter pressiones superficierum quarumcunque sunt ut plana horizontalia iisdem subjecta.

SCHOLION.

64. *In hypothesi propositionis tacite supponitur situm planorum esse horizontalem: ex demonstratione autem apparet theorema cum suis corollariis ad omnem pressionem a fluido gravi factum extendi posse.*

CAPUT III.

DE COMPRESSIONE AERIS.

PROBLEMA 8.

Tab. 65. I. Fig. 2. *Aerem intra vas comprimere.*

RESOLUTIO.

1. Epistomio IHG respectu vasis clauso, respectu antliæ vero aperto, embolus ex antlia pneumatica extrahatur: quo facto aër externus in cavitatem antliæ ruet (§. 36.).

2. Converso epistomio, ita ut communicatio inter vas & cylindrum detur, superius vero in I obturato, embolus iterum detrudatur: aër ex antlia in vas expelletur, quod cum jam aëre alio sit plenum, novum intrusum recipere nequit, nisi facta utriusque compressione (§. 5.). Excipiet vero hospitio suo adventantem hunc hospitem, cum comprimi possit (§. 17.).

3. Repetita igitur hac operatione, aër continuo magis magisque comprimitur. *Q. e. f.*

THEOREMA 8.

66. *Aër primitivus est ad aërem in vase ope antliæ pneumaticæ dato agitationum emboli numero compressum ut capacitas vasis ad aggregatum ex capacitate vasis & facto capacitatis antliæ in numerum agitationum emboli.*

DEMONSTRATIO.

Sit capacitas antliæ $=a$, capacitas vasis $=v$, numerus agitationum emboli $=n$. Erit aër primitivus in antlia ad aërem in vase ut a ad v (§. 17. *Hydrost.*). Incrementum igitur massæ in vase, dato nu-

numero agitationum emboli n eſt ut na, conſequenter aër compresſus ut $na + v$. Unde compresſus ad primitivum ut $na + v$ ad u. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

67. Data igitur capacitate antliæ 580 & capacitate vaſis 260, ſeu ratione illius ad hanc ut 2 ad 1, una cum numero agitationum emboli 3; reperitur ratio aëris compreſſi ad primitivum ut 6 + 1 ad 1 ſeu ut 7 ad 1.

PROBLEMA 9.

68. *Data ratione aëris primitivi ad compreſſum una cum ratione capacitatis antliæ ad capacitatem vaſis, invenire numerum agitationum emboli ad iſtam compreſſionem efficiendam requiſitarum.*

RESOLUTIO.

Sit ratio aëris primitivi ad compreſſum $= p:c$, ratio antliæ ad vas $= a:v$, numerus agitationum emboli $= x$, erit (§. 66.).

$$p:c = v:ax + v$$

$$cv = pax + pv$$

$$(cv - pv):pa = x$$

Regula. Factum ex differentia aëris primitivi a compreſſo in capacitatem vaſis dividatur per factum ex aëre primitivo in capacitatem antliæ; quotus eſt numerus agitationum emboli ad iſtam compreſſionem efficiendam requiſitarum. Sit e. gr. $p = 1$, $c = 7$, $v = 1$, $a = 2$; erit $x = 6:2 = 3$.

COROLLARIUM.

69. Quodſi fiat $p = v$, erit $x = (c-p)$ $v:av = (c-p):a$, hoc eſt, numerus agitationum emboli invenitur, ſi differentia aëris primitivi a compreſſo per capacitatem antliæ dividatur. Ita in noſtro exemplo $x = (7-1):2 = 3$.

PROBLEMA 10.

70. *Data capacitate vaſis, in quo aër comprimendus, una cum ratione, quam aër primitivus ad compreſſum habere debet, & numero agitationum emboli, quibus iſta compreſſio effici jubetur, invenire capacitatem antliæ.*

RESOLUTIO.

Sit capacitas vaſis $= v$, aër primitivus $= p$, compreſſus $= c$, numerus agitationum emboli $= n$, capacitas antliæ $= x$, erit (§. 66.).

$$p:c = v:nx + v$$

$$cv = pnx + pv$$

$$(cv - pv):pn = x$$

Quodſi fiat $p = v$; erit $x = (c-p):n$.

Regula. Factum ex differentia aëris primitivi a compreſſo in capacitatem vaſis dividatur per factum ex aëre primitivo in numerum agitationum emboli compreſſionem efficientium, quotus erit capaci-

pacitas antliæ quæsita. Quodsi aër primitivus fuerit ut capacitas vasis, ejus a compresso differentia tantum dividenda est per numerum agitationum emboli.

Sit e gr. $v = 290$, $p:c = 1:7$, $n = 3$; erit $x = 6 \cdot 290:3 = 2 \cdot 290 = 580$.

COROLLARIUM.

71. Est ergo $pn:c-p = v:x$, hoc est, capacitas vasis ad capacitatem antliæ est in ratione composita aëris primitivi ad ejus a pompresso differentiam & numeri agitationum emboli, quibus ista compressio efficitur, ad unitatem (§. 159 *Arithm.*).

PROBLEMA II.

72. ***Invenire, utrum aër comprimatur in ratione ponderum, nec ne.***

RESOLUTIO.

Tab. I. Fig. 4.

1. Assumatur tubus recurvus ABC, cujus brachium minus EC sit 12 circiter digitorum, majus AB 8 circiter pedum minori parallelum.
2. Brachium minus EC hermetice sigilletur in C, majus in A sit apertum: utrumque in particulas æquales dividatur.
3. Pars tubi BE Mercurio repleatur, ita ut CE sit aëre primitivo plenus.
4. Hinc ulterius per orificium A successive plus Mercurii infundatur, notenturque altitudines, ad quas in utroque brachio Mercurius successive infusus pertingit.

Dico, si successive fuerint spatia in brachio minore super Mercurio reciproce ut differentiæ altitudinum, ad quas in brachio majore mercurius successive subsistit, 28 digitis auctarum, & altitudinum, ad quas in minore Mercurius ascendit, aërem comprimit in ratione ponderum. *Q. e. i.*

DEMONSTRATIO.

Etenim ab initio aër in brachio minore CE a pondere atmosphærico comprimitur (§. 21.), quod æquatur cylindro Mercuriali 28 digitos alto (§. 29.). Quare cum cylindri æqualium basium sint ut altitudines (§. 573. *Geom.*); tum volumina aëris reducti sunt ut altitudines spatiorum a Mercurio vacuorum in brachio minore EC, tum volumina Mercurii in brachio majore sunt ut altitudines, ad quas Mercurius ascendit. In aërem vero minori brachio inclusum præter pondus atmosphæricum volumina Mercurii gravitant, quorum altitudo est differentia inter altitudines, ad quas in brachio minore, & altitudines, ad quas in majore successive pertingit (§. 34. *Hydrost.*).

droft.). Quare pondera aërem inclusum comprimentia sunt ut differentiæ altitudinum, ad quas successive in brachio minore Mercurius ascendit, ab altitudinibus, ad quas in majore successive pertingit, 28 digitis auctæ (§. 18 *Hydroft.*). Quodsi adeo volumina aëris successive compressi in eadem ratione reciproca deprehendantur, aër omnino in ratione ponderum comprimitur. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

73. *Mariottus* (q) notavit, Mercurium in brachio majore AB 8 pedum ad altitudinem 18 digitorum ascendentem in minore 12 digitorum ad 4 digitorum altitudinem substitisse. Aëris itaque volumen cum a solo pondere atmosphærico premeretur, erat 12 digitorum; ast cum aër premeretur a pondere atmosphærico & a cylindro mercuriali 14 digitorum, hoc est, a pondere mercuriali 42 digitorum, erat volumen compressi 8 digitorum. Est vero 8 ad 12 ut 28 ad 42, nempe ut 2 ad 3. Similiter deprehendit, si in brachio minore Mercurius ad altitudinem 6 digitorum assurgat, altitudinem in majore esse 34. Volumen ergo aëris compressi est 6 digitorum, hoc est, subduplum ejus, quod habebat aër a solo pondere atmosphærico pressus. Ast pondus premens est 28 + 28, hoc est, duplum ponderis atmosphærici. Porro advertit, si altitudo Mercurii in brachio minore sit 9 digitorum, altitudinem in majore esse 93. Est itaque volumen aëris compressi 3 digitorum, hoc est, subquadruplum ejus, quod habebat a solo pondere atmosphærico compressus. Sed pondus premens tum est 84 + 28, hoc est, quadruplum ponderis atmosphærici. Evidens ergo per experimentum *Mariotti*, volumina aëris compressi esse reciproce ut pondera comprimentia.

SCHOLION 1.

74. *Idem experimentum succedit, si diameter brachii minoris* CE *multo major fuerit diametro majoris* AB (§. 34 Hydrost.)*: curandum tamen, ut amplitudo illius sit uniformis, cum in demonstratione supponamus, partes quantaslibet tubi* CE *esse cylindros æqualium basium.*

SCHOLION 2.

75. *Probe autem notandum est, præter pondera comprimentia in voluminibus aëris, quæ inter se comparantur, cætera omnia paria esse debere, cavendumque, ne eandem compressionis legem ad diversa aëris volumina applicemus, in quibus præter pondera comprimentia aliorum quoque aërem alterantium datur disparitas: quoniam hoc in casu fieri potest, ut elateris in duobus voluminibus æqualibus atque ejusdem densitatis vires sint inæquales, adeoque & pondera compressionem aëris in utroque efficiencia sint inæqualia* (§ 553 Mechan.)*, consequenter & duo volumina aëris æqua-*

(q) Essay de la Nature de l'Air p. 17. & seqq. s. Operum in Batavia recusorum Tom. 1. p. 153.

Digitized by Google

æqualia ab iisdem ponderibus inæqualiter comprimantur. E gr. Ponamus duo volumina aërea, in quibus ab initio cætera omnia paria; evidens est, quod paria pondera sustentare debeant. Ponamus porro alterum volumen actioni caloris exponi: rarefiet igitur (§. 23) *adeoque pondus premens propellet. Ut itaque aër ad pristinum volumen reducatur, majus imponendum erit pondus, quam quod dilatato incumbit. Ecce tibi duo volumina aëris inter se æqualia, cumque ab initio eandem densitatem habuerint*, per hypoth *ejusdem densitatis, quæ tamen inæqualia pondera comprimentia sustinens.*

SCHOLION 3.

76. *Vana vero est objectio, quod admissa hac compressionis lege sequetur, aërem eo usque comprimi posse, ut spatium occupet infinite parvum ejus respectu, quod ante compressionem obtinuerat, pondere scilicet in infinitum aucto. Nam ubi ad summum compressionis gradum pertingit, ponderi quantocunque prementi resistit, consequenter vi resistendi infinitæ æquipollet. Nec ideo vis elastica aëris in statu summæ compressionis viribus infinite variis æquatur* (§ 553. Mechan.); *sed minimæ earum, a quibus maxima compressio proficisci valet. Est enim vis minor pars majoris* (§. 20. Arithm.). *Quamobrem si vis elastica aëris in statu summæ compressionis & vi minori, & majori æqualis esset; pars toti æqualis foret: id quod absurdum* (§. 84. Arithm.). *Cum adeo vis elastica in statu summæ compressionis infinita non sit, explicandum est, quomodo vi resistendi infinitæ æquipolleat. Scilicet si majus pondus aëri incumbere supponamus, quam ad summam compressionem efficiendam sufficit; excessus ponderis non amplius ad comprimendum aerem, sed ad compressum loco pellendum impenditur. Ut igitur non expellatur corpora aërem compressum ambientia vi resistendi prædita esse debent, quæ toti ponderi incumbenti æquatur. Utut enim pondus incumbens non omnem vim, qua premit, ad aërem compressum expellendum adhibeat; corpora tamen motum impedientia & vi elastica aëris compressi & vi eidem impressa urgentur, quæ simul sumtæ vim ponderis prementis adæquant.*

SCHOLION 4.

77. *Idem experimentum cum successu repetierunt* Robertus Boyle (r) & Amonton (s), *hicque in voluminibus aëris majoribus.*

THEOREMA 9.

78. *Elater aëris compressi est ad elaterem dilatati uti reciproce volumen dilatati ad volumen compressi.*

DEMONSTRATIO.

Elater aëris magis compressi est ad elaterem minus compressi ut pondus isti incumbens ad pondus huic impositum (§. 553. *Mechan.*).

 Enim-

(r) in defensione doctrinæ de elatere & gravitate aëris contra Linum part. 2. c. 5. p. m. 42. & seqq.

(s) Memoires de l'Academie Royale des Sciences A. 1705. p. m. 155. & seqq.

Enimvero in ratione horum ponderum est quoque reciproce volumen aëris minus compressi ad volumen aëris magis compressi (§. 73.). Ergo & elater magis compressi est ad elaterem minus compressi seu dilatati uti reciproce volumen dilatati ad volumen compressi (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

79. Elater igitur aëris magis compressi fortior est, quam elater minus compressi.

THEOREMA 10.

80. *Elater aëris magis compressi est ad elaterem minus compressi, cæteris paribus, ut massa aëris magis compressi sub eodem volumine contenti.*

DEMONSTRATIO.

Si aër comprimitur in spatium subduplum, subtriplum, subquadruplum &c. erit aëris primitivi duplus, triplus, quadruplus &c. in spatio simplici. Ast in spatium subduplum a duplo; in subtriplum a triplo; in subquadruplum a quadruplo &c. pondere comprimitur (§. 73.). Ergo in æqualibus voluminibus massæ aëris diversimode compressi in ratione ponderum comprimentium existunt, consequenter cum in eadem ratione sit elater aëris magis & minus compressi (§. 553. *Mech.*); elater aëris magis compressi ad elaterem minus compressi est ut massa illius ad massam hujus sub æquali volumine (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

PROBLEMA 12.

81. *Data ratione voluminis, quod replet aër a solo pondere atmosphærico pressus, ad spatium, in quod redigitur ulterius compressus, determinare vim elasticam compressi.*

RESOLUTIO.

Cum elater aëris a solo pondere atmosphærico pressi æquetur ponderi columnæ mercurialis eandem cum volumine aëris basin, sed altitudinem 28 digitorum habentis (§. 29.); si ad volumen compressi volumen nondum compressi & pondus istius columnæ mercurialis quæratur numerus quartus proportionalis, designabit is quantitatem vis elasticæ in aëre compresso (§. 78.).

COROLLARIUM.

82 Quodsi pondus columnæ mercurialis istius a quantitate vis elasticæ inventa subducatur; relinquitur vis elateris, qua resistentiam ponderis atmosphærici superat.

PRO-

Digitized by Google

PROBLEMA 13.

83. *Dato effectu, quem producit aër a solo pondere atmosphærico pressus, aut in certo compressionis gradu, invenire effectum, quem producturus est in alio quocunque compressionis gradu.*

RESOLUTIO.

Cum effectus sint viribus productricibus proportionales (§. 530. *Mechan.*), vires vero productrices in nostro casu sint reciproce ut volumina in diversis compressionis gradibus (§. 78.); si effectus, quem elater aëris in certo compressionis gradu producit, detur, effectus in alio quocunque producendus invenietur inferendo: ut volumen aëris magis compressi ad volumen minus compressi ita effectus ab hoc producendus ad effectum illius.

SCHOLION.

84. *Idem problema quoque solvitur per analogiam theor. 12.* (§. 80.).

PROBLEMA 14.

85. *Dato effectu, quem producit aër a solo pondere atmosphærico pressus, determinare alium compressionis gradum, in quo idem producat intra atmosphæram effectum quemcunque majorem datum.*

RESOLUTIO.

Sit effectus minor $= a$, major $= b$, volumen aëris minus compressi $= c$, volumen magis compressi $= x$. Cum alter effectus intra atmosphæram resistentem sit producendus & integer tamen desideretur, quærenda erit compressio, quæ in vacuo effectum produceret æqualem aggregato ex effectu desiderato & effectu, quem aër a solo pondere atmosphærico pressus in vacuo produceret. Erit adeo effectus ab aëre compresso producendus $= a + b$, consequenter $a + b : a = c : x$, hoc est, ut aggregatum ex effectu aëris a solo pondere atmosphærico pressi & effectu ab aëre in quæsito compressionis gradu intra atmosphæram producendo ad effectum aëris a solo pondere atmosphærico pressi, ita volumen aëris a solo pondere atmosphærico pressi ad volumen aëris in quæsito compressionis gradu (§. 78.): quod adeo per regulam trium invenitur.

SCHOLION.

86. *Eodem modo problema resolvitur ope theorematis 12.* (§. 80.).

Ca-

CAPUT IV.

DE
ÆQUILIBRIO AERIS CUM ALIIS FLUIDIS SPECIFICE GRAVIORIBUS.

DEFINITIO 9.

Tab. I. Fig. 5. 87. Per *Tubum Torricellianum* intelligo tubum vitreum AB Mercurio repletum, cujus osculum superius A hermetice sigillatum, inferius B stagnanti in vasculo CD Mercurio immersum.

SCHOLION.

88. *Vocatur istiusmodi tubus* Torricellianus *ab inventore* Torricello (§.29.).

DEFINITIO 10.

89. *Barometrum* est instrumentum, quo gravitatem aëris metiri licet. *Baroscopium* vero est instrumentum, quod variationes gravitatis aëris confuse indicat.

SCHOLION.

90. *Vulgo pro synonymis habent has voces: sed mihi e re esse videtur eas distinguere, cum aliud utique sit saltem cognoscere, aerem hoc tempore esse graviorem, quam altero; aliud vero scire, quoties gravitas atmosphæræ hac die superet gravitatem illius anteriorem: posterius vero constare debet, si gravitatem aeris metiaris* (§. 21. Geom).

THEOREMA 11.

91. *In tubo Torricelliano major columna Mercurii suspenditur in locis profundioribus, quam in altioribus.*

DEMONSTRATIO.

Columna Mercurii suspensa æquatur columnæ aëreæ, cujus eadem cum ista basis, sed altitudo a superficie Mercurii in vasculo stagnantis usque ad extremitatem atmosphæræ exporrigitur (§. 36. *Hydrost.*). In locis vero altioribus columnæ aëreæ altitudo minor, quam in profundioribus, adeoque & ipsa columna in his gravior, quam in istis, consequenter minor columna Mercurii columnæ aëreæ in locis altioribus æquiponderat, quam in profundioribus. *Q. e. d.*

SCHOLION.

92. *Veritatem hujus theorematis experientia confirmarunt plurimi. Primus de eo cogitavit* Pascalius, *qui phænome-*

nomena tubi Torricelliani maxima cum solertia scrutatus est in Tractatu de aquilibrio liquorum.

THEOREMA 12.

93. *Si in tubo Torricelliano aëris quædam quantitas super Mercurio, & in genere in vase quocunque, cujus orificium apertum fluido immersum, super fluido relinquatur; Mercurius vel fluidum quodcunque alterum ad minorem altitudinem suspenditur, quam si vacuus fuerit, & pondus fluidi suspensi æquatur differentiæ elateris aëris inclusi a pondere atmosphærico.*

DEMONSTRATIO.

Cum ab initio aëris inclusi elater solus ponderi atmosphærico æquetur (§. 33.); Mercurius vi gravitatis propriæ descendere incipit. Ast dum descendit, aër inclusus dilatatur (§. 36.) adeoque elater ejus minori, quam ponderi atmosphærico æquilibratur (§. 89.). Tantum igitur Mercurii aut fluidi cujuscunque alterius in tubo vel vase remanere debet, quantum differentiæ elateris aëris inclusi a pondere atmosphærico æquilibratur, consequenter Mercurius ad minorem altitudinem suspenditur, quam si tubus ab aëre vacuus extitisset. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

94. Aër igitur in tubo Torricelliano inclusus rarior ambiente externo & ejus elater æquatur differentiæ ponderis Mercurii suspensi a pondere atmosphærico (§. 36. *Hydrost.*).

COROLLARIUM 2.

95. Hinc liquet, si vas exiguo orificio instructum, nec aqua aut alterius generis liquore prorsus plenum, digito ad orificium applicato, ita invertatur, ut orificium sit horizontale; cur remoto digito ab initio quædam liquoris gutta effluat, reliquus vero intus remaneat: item cur idem eveniat in vase quocunque alio quantumvis amplo, si orificio folium chartaceum imponas, dum illud invertis.

PROBLEMA 16.

96. *Data ratione altitudinis fluidi in tubo ab omni aëre prorsus vacuo ad altitudinem, qua gaudet, si tubi aliqua pars aëre repleatur una cum volumine aëris dilatati, invenire volumen aëris primitivi.*

RESOLUTIO.

Cum elater aëris primitivi æquetur ponderi fluidi in tubo vacuo suspensi (§. 33.), adeoque elater dilatati differentiæ ponderis fluidi suspensi a pondere atmosphærico (§. 94), pondera vero fluidi sint ut volumina (§. 130. *Mechan.*); volumina ut altitudines (§. 573. *Geom.*);

erit ut altitudo fluidi in tubo vacuo ad differentiam altitudinis in tubo non vacuo a priore, ita volumen aëris dilatati ad volumen primitivi (§. 78.): quod adeo per regulam trium invenitur. *Q. e. d.*

E. gr. Sit altitudo fluidi in tubo vacuo 28, in tubo non vacuo 14, volumen aëris dilatati 25, erit volumen primitivi $(28-14) 25 : 28 = 350 : 28 = 12\frac{1}{2}$ Quæ prorsus consona sunt experimento *Mariotti* (t).

PROBLEMA 17.

97. *Data altitudine fluidi in tubo vacuo & ratione voluminis aëris primitivi ad volumen dilatati, invenire altitudinem ejusdem fluidi in tubo non vacuo.*

RESOLUTIO.

Sit altitudo fluidi in tubo vacuo $= a$, altitudo in non vacuo $= x$, volumen aëris primitivi $= b$, dilatati $= c$, erit (§. 96).

$$a : a - x = c : b$$

$$x : a = c - b : c \quad (\text{§. 193. } Arith.)$$

Inveniri adeo debet numerus quartus proportionalis ad volumen aëris dilatati, differentiam voluminis primitivi a volumine dilatati & altitudinem in tubo vacuo.

Sit e. gr. $a = 28$, $b = 12\frac{1}{2}$, $c = 25$; erit $x = (25 - 12\frac{1}{2})\, 28 : 25 = 350 : 25 = 14$.

PROBLEMA 18.

98. *Datis altitudine fluidi in tubo vacuo & volumine aëris primitivi, invenire volumen dilatati & altitudinem fluidi in tubo non vacuo datæ altitudinis.*

RESOLUTIO.

Sit altitudo fluidi in tubo vacuo $= m$, altitudo tubi ultra libellam fluidi in vase stagnantis $= a$, altitudo voluminis aëris primitivi $= b$, dilatati $= x$, erit altitudo fluidi in tubo non vacuo $= a - x$, consequenter

$$m : m - a + x = x : b \ (\text{§. 96.})$$

$$bm = mx - ax + x^2$$

hoc est, si fiat $a - m = d$

$$bm = x^2 - dx$$

$$\tfrac{1}{4}d^2 \quad \tfrac{1}{4}d^2$$

$$\tfrac{1}{4}d^2 + bm = x^2 - dx + \tfrac{1}{4}d^2$$

Ergo $\frac{1}{2}d + \sqrt{(\frac{1}{4}d^2 + bm)} = x$.

Regula 1. Quadrato semidifferentiæ altitudinis fluidi in tubo vacuo ab altitudine tubi ultra libellam fluidi in vase stagnantis addatur factum ex eadem altitudine fluidi in altitudinem voluminis aëris primitivi. 2. Ex facto extrahatur radix qua-

(t) Essay de la nature de l'air p. 23. & seqq.

quadrata, & 3. huic addatur semidifferentia paulo ante memorata. Erit aggregatum altitudo voluminis aëris dilatati. E. gr. sit $a=39$, $m=28$, erit $d=11$, $\frac{1}{2}d=5\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}dd=\frac{121}{4}$. Sit $b=12\frac{1}{2}$, erit $bm=350$, adeoque $\frac{1}{4}dd+bm=\frac{121}{4}+350=\frac{1521}{4}$, consequenter $\sqrt{(\frac{1}{4}dd+mb)}=\frac{39}{2}=19\frac{1}{2}$: unde $x=5\frac{1}{2}+19\frac{1}{2}=25$. Hinc altitudo fluidi in tubo non vacuo $a-x=39-25=14$.

PROBLEMA 19.

99. *Data altitudine fluidi in tubo vacuo, altitudine tubi ultra libellam fluidi in vasculo stagnantis & altitudine fluidi in tubo non vacuo, invenire altitudinem voluminis aëris primitivi.*

RESOLUTIO.

Sit altitudo fluidi in tubo vacuo $=m$, in tubo non vacuo $=n$, altitudo tubi $=a$, altitudo aëris primitivi $=x$, erit altitudo dilatati $=a-n$, consequenter (§. 96.).

$$m:m-n=a-n:x$$

Invenietur adeo x, quærendo ad altitudinem fluidi in tubo vacuo, differentiam altitudinis in non vacuo a priore & differentiam altitudinis fluidi in tubo non vacuo ab integra altitudine tubi numerum quartum proportionalem.

Sit e. gr. $m=28$, $n=14$, $a=39$, erit $x=(39-14)\ (28-14):28=(25\ 14):28=350:28=12\frac{1}{2}$.

PROBLEMA 20.

100. *Determinare quantitatem liquoris effluentis, si vas exigui orificii non plenum invertatur.*

RESOLUTIO.

1. Inveniatur altitudo, ad quam liquor datus in vase vacuo ab aëre sustentatur (§. 36. *Hydrost.*).
2. Quoniam porro datur altitudo fluidi in vase atque altitudo totius vasis *per hypoth.* reperietur volumen aëris dilatati (§. 98.). Unde si
3. Subducatur volumen aëris primitivi, relinquetur quantitas liquoris expellendi, si vas invertatur (§. 95.).

THEOREMA 13.

101. *Si vasis ab aëre prorsus evacuati, cujus altitudo non excedit altitudinem columnæ liquoris atmosphæræ æquiponderantis, orificium intra aquam aut alterius generis fluidum demergatur, demersumque aperiatur, liquor ascendens totum replebit: ast si non prorsus evacuatum fuerit, minus spatium liquor ascendens occupabit, quam aëris primitivi educti quantitas repleverat.*

DEMONSTRATIO.

Cum enim liquor undiquaque circa orificium vasis demersum a pondere atmosphæræ prematur (§. 21.), sub orificio autem vasis

 aper-

Digitized by Google

aperto nulla sit aëris pressura, quia ab aëre prorsus vacuum supponitur; tantum liquoris intra vas ascendere debet, quantum sufficit ad pressuram ei æqualem efficiendam, quæ a pondere atmosphærico efficitur (§. 75. *Mechan.*). Sed vasis altitudo liquori atmosphæræ æquiponderantis altitudinem non excedit, *per hypoth.* Ergo pressura æqualis pressuræ ponderis atmosphærici a liquore intra vas contento effici nequit, nisi totum repleatur. Totum ergo replebitur. *Quod erat unum.*

Quodsi quædam aëris portio residua fuerit, ea super liquore ingrediente constituta rarior sit necesse est quam aër primitivus (§. 49). Majus ergo spatium occupat, quam cum primitivo adhuc jungeretur (§. 10. *Hydrost.*). Quoniam adeo nonnisi spatium reliquum a liquore occupatur, evidens est, liquorem ascendentem minus spatium vasis replere, quam aëris primitivi educti quantitas repleverat. *Quod erat alterum.*

SCHOLION.

102. Schottus *autor est* (u), *cum Herbipoli experimentum sæpius iteraretur, rem nunquam eo adduci potuisse, ut etiam minore vase adhibito omnem excluderent aerem. Equidem cum aqua in vas irrumpens spumescat, ipse id indicium irruentis aeris pronunciat, ignarus unde adveniat aut oriatur; alii rectius ab expansione aeris intra aquam latentis idem phænomenon deducunt, atque hinc aeris super liquore constituti originem derivant. Enimvero quemadmodum forte negari nequit, quod hac ratione aer in vase residuus aliquod capiat incrementum, ita rationi consentaneum videtur, non omnem aerem ope antliæ ex vasis educi, quia aer ad summum expansionis gradum perductus non amplius evacuatur, moleculis paucis dispersis ætheri subtiliori & leviori innatantibus, quemadmodum massulæ metallicæ in fluidis specifice levioribus natare solent, ut taceam massulas aereas, quæ ab eminentiolis in superficie vitri non secus ac aliorum fluidorum guttulæ fulciuntur. Sæpius tamen diverso tempore diversis quoque vasis repetito exprimento didici, perexiguum esse aeris, quod super liquore constitutum deprehenditur, vase summa diligentia evacuato.*

(u) in Techn. curiosa lib. 1. c. 3. p. 14.

PROBLEMA 21.

103. *Data altitudine vasis evacuati & altitudine liquoris in ipsum ingressi, invenire volumen aëris primitivi educti.*

RESOLUTIO.

1. Inveniatur altitudo, ad quam liquor datus in vase vacuo ab aëre sustentatur (§. 36. *Hydrost.*).

2. Quo-

Digitized by Google

2. Quoniam porro datur altitudo vasis evacuati & altitudo liquoris ipsum ingressi invenietur volumen aëris primitivi (§. 99.).

COROLLARIUM.

104. Quodsi quantitas aëris educti quæratur per probl præs. eademque adhuc alia ratione inveniatur (§ 51.), atque eadem utrobique reperiatur; certum id erit indicium, nihil aëris ex aqua irruente in summitatem vasis ascendisse.

SCHOLION.

105. *Dubito tamen. num hæ subtilitates in praxi satis discerni queant.*

THEOREMA 14.

Tab. I. Fig. 6. 106. *Si vas quoddam* ABCD *aperto orificio* CD *sub aqua aut alio liquore perpendiculariter demergatur, quo profundius mergitur, eo magis aer in eodem comprimitur.*

DEMONSTRATIO.

Cum enim aër aqua aliisque fluidis levior existat (§. 57.), si vas AB CD perpendiculariter demergitur, ex eodem egredi nequit, quia in aqua descendere deberet, quod fieri nequit (§. 99. *Hydrost.*). Jam elater aëris inclusi aquam subjectam eadem vi premit, qua pondus atmosphæricum (§. 33.), aqua vero in eadem libella circa orificium vasis præter pondus atmosphæricum etiam aqua super ea in vase stagnante premitur. Magis ergo premitur circa orificium vasis CD, quam sub eodem, consequenter cum aër intra vas adhuc compressibilis existat (§. 17.) & in ratione ponderum compressionem patiatur (§. 73.); aliqua liquoris quantitas intra vas ascendere debet, eoque major quo profundius mergitur. *Q. e. d.*

SCHOLION.

107. *Veritatem theorematis experientia confirmat. Inprimis huc pertinent phænomena campanæ urinatoriæ a* Sturmio (x) *enarrata & experimento illustrata.*

THEOREMA 15.

108. *Iisdem positis, quæ in propositione præcedente, elater aëris in vase* ABCD *compressi, una cum pondere liquoris in ipsum ingressi æquatur aggregato ex pondere atmosphæræ & pondere columnæ ejusdem fluidi, quæ eandem cum fluido ultra libellam orificii* CD *in vase* FG *stagnante altitudinem habet.* Tab. I. Fig. 7.

DEMONSTRATIO.

Aër in vase ABCD adhuc compressibilis existit (§. 17.): tamdiu ita-

(x) Colleg. Curios. part. 1. Tent. 1. & seqq.

taque vi prementi cedit, donec eadem in fluidum sub orificio CD pressura efficiatur, quam circumcirca efficit aggregatum ex pondere atmosphærico & columna fluidi eandem cum vase basin eandemque cum fluido ultra libellam orificii vasis CD in vase FG stagnante altitudinem habente (§. 75. *Mechan.*). Sed pressura in aquam sub orificio CD fit ab elatere aëris in vase ABCD compressi & pondere fluidi intrantis (§. 34. & 10). Quare elater aëris in vase ABCD compressi una cum pondere fluidi intrantis æquatur &c. *Q. e. d.*

PROBLEMA 22.

Tab. I. Fig. 6. 109. *Data gravitate fluidi ultra libellam orificii vasis* CD *consistentis una cum volumine ejus & volumine aëris primitivi cavitatem vasis* ABCD *implentis, invenire volumen aëris compressi & fluidi in vas intrantis.*

RESOLUTIO.

Sit gravitas fluidi $=g$, ejus volumen $=c$, pondus atmosphæricum $=a$, volumen aëris primitivi $=b$, volumen fluidi in vas ascendentis $=x$, erit volumen compressi $=b-x$. Jam cum elater aëris primitivi æquetur ponderi atmosphærico (§. 33.), reperietur elater aëris compressi $=ab:(b-x)$ (§. 78.). Et quoniam gravitates corporum homogeneorum sunt ut volumina (§. 130 *Mechan.*); reperietur gravitas fluidi in vas ascendentis $=gx:c$. Habemus ergo

$$ab:(b-x)+gx:c=g+a \text{ (§.108.)}$$

$$abc+bgx-gx^2=bgc+abc-gcx-acx$$

$$x^2-bx-cx-acx:g=-bc$$

hoc est; si fiat $b+c+ac:g=d$

$$x^2-dx=-bc$$

$$\tfrac{1}{4}dd \quad \tfrac{1}{4}dd$$

$$x^2-dx+\tfrac{1}{4}dd=\tfrac{1}{4}dd-bc$$

$$\tfrac{1}{2}d-x=\sqrt{(\tfrac{1}{4}dd-bc)}$$

$$x=\tfrac{1}{2}d-\sqrt{(\tfrac{1}{4}dd-bc)}$$

Regula. 1. Aggregato ex volumine aëris primitivi & volumine fluidi super libellam orificii vasis stagnantis addatur numerus quartus proportionalis ad gravitatem hujus fluidi, pondus atmosphæricum & volumen ejusdem fluidi. 2. Ab hujus novæ semisummæ quadrato subtrahatur factum ex volumine aëris primitivi in volumen fluidi ultra libellam orificii vasis stagnantis. 3 Ex residuo extrahatur radix quadrata, quæ si a semisumma supra inventa subtrahatur, relinquetur volumen fluidi in vas ascendentis.

COROLLARIUM 1.

110. Cum pondus liquoris vas intrantis sit $gx:c$; idem substituto valore ipsius

Digitized by Google

ipsius x, reperitur $= (\frac{1}{2} d - \sqrt{(\frac{1}{4} dd - bc)})\, g : c$.

COROLLARIUM 2.

111. Et quia elater aëris in vase compressi est $ab : (b - x)$, idem substituto valore ipsius x, reperitur $= ab : (b - \frac{1}{2} d + \sqrt{(\frac{1}{4} dd - bc)})$.

PROBLEMA 23.

Tab. I. Fig. 6. 112. *Data profunditate vasis seu altitudine aëris primitivi in ejus cavitate contenti, invenire profunditatem, ad quam intra fluidum datæ gravitatis orificium CD deprimendum, ut volumen aëris compressi habeat ad volumen aëris primitivi rationem datam.*

RESOLUTIO.

Sit altitudo voluminis aëris primitivi $= b$, pondus atmosphæricum $= a$, gravitas fluidi $= g$, ejus altitudo super libella orificii $= x$, altitudo aëris compressi $= c$, erit altitudo liquoris vas intrantis $= b - c$. Cum elater aëris primitivi æquetur ponderi atmosphærico (§. 33.); reperietur elater compressi $= ab : c$ (§. 78.). Et quoniam gravitates corporum homogeneorum sunt ut volumina (§. 130 *Mechan.*), erit gravitas fluidi in vas ascendentis $= (bg - gc) : x$. Ergo

$$ab : c + (bg - gc) : x = a + g$$

$$abx + bgc - gc^2 = acx + gcx$$

$$bgc - gc^2 = acx + gcx - abx$$

$$(bgc - gc^2) : (ac + gc - ab) = x$$

Theorema. Ut differentia facti ex pondere atmosphærico in altitudinem aëris primitivi a facto ex aggregato ponderis atmosphærici & gravitatis fluidi in altitudinem aëris compressi ad gravitatem fluidi, ita differentia quadrati altitudinis aëris compressi a facto ex eadem in altitudinem primitivi ad profunditatem orificii CD vasis sub fluido demersi.

SCHOLION.

113. *Hactenus supposuimus, aërem, dum comprimitur, cum ambiente externo cætera paria habere. Enimvero quando aqua frigidior aëre ambiente, aër in vase condensatur (§. 24.). Dispiciendum itaque, quamnam mutationem frigus inducat.*

PROBLEMA 24.

114. *Datis capacitate vasis, hoc est, volumine aëris primitivi, volumine fluidi demersum ingressi & volumine fluidi supra orificii vasis libellam stagnantis, una cum pondere atmosphærico, invenire rationem voluminis aëris compressi tantum ad volumen compressi & condensati simul.*

RE-

Digitized by Google

RESOLUTIO.

Ex datis inveniri potest volumen aëris compressi (§. 109.) &, si volumen fluidi vas ingressi a volumine aëris primitivi subducitur, manifestum est, relinqui volumen aëris compressi & condensati simul. Cum igitur in numeris habeatur tam volumen aëris compressi tantum, quam volumen aëris & compressi & condensati, illius ad hoc ratio latere nequit. *Q. e. d.*

COROLLARIUM. 1.

115. Quodsi volumen aëris compressi & condensati subtrahatur ex volumine aëris compressi tantum, relinquetur pars voluminis, quæ condensationem metitur.

COROLLARIUM 2.

116. Quodsi contingat, hanc differentiam esse nullam; vel aër ambiens non erit calidior aqua, vel aër compressus ab isto frigoris gradu nullam patiatur necesse est condensationem.

COROLLARIUM 3.

117. Quodsi differentia aliqua prodeat, evidens est, aërem compressum adhuc condensatum & spatium a compresso in condensatione derelictum a fluido ascendente repletum fuisse. Elater igitur aëris compressi facta condensatione decrevit & hoc decrementum æquatur ponderi fluidi in spatio derelicto contenti (§ 93.).

SCHOLION 1.

118. *Supposuimus in hactenus demonstratis propositionibus vasa esse cylindrica vel prismatica: alias enim prolixiore subinde opus fuisset calculo.*

SCHOLION 2.

119. *Nec difficulter intelligitur, quæ in problemate præsente de aëre condensato demonstrata sunt, ad rarefactum quoque transferri posse, si vas in fluido calidiore, quam aër ambiens, demergatur.*

THEOREMA 16.

120. *Si pondus atmosphæræ minuitur, Mercurius in tubo Torricelliano descendere; si illud augetur, hic ascendere debet.*

DEMONSTRATIO.

Etenim columna Mercurialis intra tubum Torricellianum suspensa æquatur ponderi atmosphærito (§. 29.). Quare si pondus atmosphæræ minuitur, Mercurius fortius deorsum nititur, quam pondus atmosphæræ resistit. Tanta igitur ejus portio ex tubo effluere debet, quanta differentiæ ponderis columnæ Mercurialis & ponderis atmosphærici æquatur (§. 73. *Mechan.*). Quare si volumen Mercurii minuitur, in tubo utique descendere debet. *Quod erat unum.*

Similiter demonstratur, pondere

re atmosphærico aucto, Mercurium in tubo Torricelliano ascendere debere. *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM.

121. Cum altitudo Mercurii in tubo Torricelliano quotidie variet, experientia teste; aëris quoque gravitas quotidie varietur opus est.

SCHOLION 1.

122. *Mathematici Parisienses maximam Mercurii altitudinem* $28'' \, 4'''$, *minimam* $26'' \, 4'''$ *observarunt, ut adeo omnis variatio intra* $2''$ *seu* $24'''$ *pedis Parisini comprehendatur. A.* 1711. *d* 23. *Dec. apud nos flante Coro & cælo nubilo altitudo maxima fuit* $30''\frac{1}{8}$ *pedis Londinensis, d.* 21. *Octobr. h.* 7. *mat. minima vix excessit* 28 *digitos pedis Londinensis, flante Zephyro & tempestate pluviali, cum nocte praecedente procella sævisset. Nec memini, me intra quinquennium, ex quo tales observationes annotavi, unquam majorem vel etiam minorem altitudinem Mercurii deprehendisse. Tota igitur variationis scala non excedit* $2\frac{1}{8}$ *digitos pedis Londinensis, qui cum deficiat a Parisino* $\frac{9}{144}$ (§. 26. Geom.); *observationes nostræ cum Parisinis satis conspirant.*

SCHOLION 2.

123. *Equidem celeberrimus* Hallejus (y) *cum globum vitreum collo tenui instructum & Mercurio plenum aquæ ad ignem ebullienti immitteret, volumen ejus* $\frac{1}{74}$ *sui crescere observavit, atque adeo hinc constat, Mercurium rarefieri iterumque condensari* § 68.). *Quoniam tamen incrementa & decrementa Mercurii calori atque frigori proportionalia non sunt, nec caloris mutationibus ullatenus obtemperant, immo maxima plerumque hieme observantur* (§ 122.); *variationes ejus in Tubo Torricelliano, a calore ac frigore minime pendent.*

(*Wolffii Math. Tom.* 2.)

(y) Philos. Transact. n. 197. p. 650.

THEOREMA 17.

124. *Si tubus recurvus* ABC *in* A *hermetice sigillatus, in* C *vero apertus ut Torricellianus Mercurio repletur, erit variatio altitudinis Mercurii in crure longiore* AB *ob variatum pondus atmosphæræ subdupla variationis altitudinis Mercurii in tubo Torricelliano ex eadem causa contingentis.* Tab. I. Fig. 7.

DEMONSTRATIO.

Altitudo enim Mercurii in brachio majore atmosphæræ æquiponderantis semper computanda est a superficie Mercurii in crure minore BC stagnantis (§. 34. 36. *Hydrost.*). Ponamus jam mercurium in crure minore CB consistere ad E, in majore AB ad D sitque $HD = 26''$. Aucta atmosphæræ gravitate, Mercurius ascendat ex D in F (§. 120.): tum ex E descen-

 det

Digitized by Google

det in G, eritque suppositis tuborum CB & BA diametris æqualibus EG = DF. Ponamus esse = 1'', erit IF = 28''. Quare si in tubo Torricelliano Mercurius ascendit per 2, in tubo recurvo nonnisi ex D in F, hoc est per 1'', ascendit. Est ergo variatio altitudinis Mercurii ob mutatum pondus atmosphæricum in istiusmodi tubo recurvo contingens subdupla variationis altitudinis Mercurii ex eadem causa in tubo Torricelliano contingentis. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

125. Quia vasculum, cui tubus Torricellianus immittitur, cruri breviori respondet; evidens est, illud tam amplum esse debere, ut Mercurius ex tubo per integram scalam delapsus altitudinem in vasculo stagnantis non sensibiliter augeat, e. gr. non nisi dimidia lineola. Ita enim Mercurius in tubo per unam lineam ascensurus propter hoc impedimentum nonnisi per lineam parte sui quadragesima octava mulctatam ($1''' - \frac{1}{48}$) ascendet (§. 122.): quæ differentiola vix notabilis.

COROLLARIUM 2.

126. Cum scala integra, per quam Mercurius in tubo Torricelliano vasculo satis amplo ascendere ac descendere solet, vix 24 lineas adæquet (§. 122.); in tubo recurvo eadem erit non nisi 12 linearum seu digiti unius.

PROBLEMA 25.

127. *Data integra scala, per quam ascendit & descendit Mercurius in tubo Torricelliano, una cum diametro tubi, invenire diametrum vasculi, in quo si tubus contineatur, Mercurius ex eo delapsus non impediat, quo minus mutationes satis notabiles existant.*

RESOLUTIO.

Totum negotium huc redit, ut impediatur, quo minus Mercurius ex tubo delapsus Mercurii in vasculo stagnantis altitudinem augeat, cum tantum altitudini in tubo decedat, quantum accedit altitudini Mercurii in vasculo, ex demonstratione theorematis 17 (§. 124.). Id autem obtinetur, si ea sit vasculi amplitudo, ut Mercurius per integram scalam delapsus altitudinem in vasculo stagnantis non nisi dimidia lineola augeat (§. 125.).

Sit itaque scala Mercurialis in tubo Terricelliano $= a$, diameter tubi $= b$, erit supposita ratione diametri ad peripheriam $= d : p$, cylindrus Mercurialis intra scalam continendus $= pb^2a : 4d$ (§. 541. *Geom.*). Sit porro diameter vasculi $= x$, cum altitudo cylindri, in quem in id delapsus Mercurius abire

abire debet, sit dimidiæ lineolæ $=m$; erit soliditas ejusdem $=mpx^2 : 4d$ (§. *cit.*), consequenter

$$mpx^2 : 4d = pb^2a : 4d$$

$$mx^2 = ab^2$$

$$x^2 : b^2 = a : m \text{ seu } x : b = \sqrt{a} : \sqrt{m}$$

Theorema. Diameter vasculi est ad diametrum tubi in ratione subduplicata scalæ Mercurialis in tubo ad altitudinem Mercuri delapsi in vasculo, hoc est ut $\sqrt{24}$ ad $\sqrt{\frac{1}{2}}$ (§. 125.), seu $\sqrt{48} : 1 = 4\sqrt{3}$ ad 1.

COROLLARIUM.

128. Si $b = m$; erit $x = \sqrt{ab}$, hoc est, diameter vasculi est media proportionalis inter altitudinem scalæ & diametrum tubi, si Mercurius ex integra scala delapsus in vasculo ascendere debet ad altitudinem diametro tubi æqualem.

PROBLEMA 26.

129 *Datis diametris tubi & vasculi, una cum altitudine intervalli, per quod Mercurius in tubo descendit, invenire altitudinem intervalli, per quod ascendit in vasculo & contra.*

RESOLUTIO.

Sit diameter tubi $=a$, diameter vasculi $=b$, altitudo descensus, $=c$, altitudinis Mercurii in vasculo incrementum $=x$, erit (§. 127.)

$$a^2pc : 4d = b^2px : 4d$$

$$a^2c = b^2x$$

$$x : c = a^2 : b^2$$

Theorema. Incrementum altitudinis Mercurii in vasculo est ad intervallum descensus in tubo, uti reciproce quadratum diametri tubi ad quadratum diametri vasculi.

COROLLARIUM.

130. Ergo si Mercurius descendit per quodcunque intervallum c, erit verum descensus intervallum $= c + a^2 c : b^2$.

PROBLEMA 27.

131. *Baroscopium construere.*

RESOLUTIO.

1. Tubus vitreus AB, cujus diameter unius circiter lineæ, hermetice sigillatus in A & 36 digitis Rhenanis non brevior, Mercurio ita repleatur, ut nihil aëris super eo relinquatur, nec ulli vesiculæ inter parietem vitri & Mercurium locus concedatur: id quod optime succedit ope infundibuli vitrei tubulo capillari instructi. Tab. II. Fig. 8.
2. Orificium tubi ita repleti, ut Mercurius ex eo redundet, digito fortissime appresso, ne intra eum & Mercurium aëris quidpiam remaneat, Mercurio in

Digitized by Google

in vasculo ligneo, cujus diameter per probl. 25. (§. 127.) determinanda, ita immergatur, ut fundum non attingat.

3. Intervallo a superficie Mercurii in vasculo stagnantis 26 digitorum Rhenanorum affigantur ab utroque tubi latere lamellæ CE & DF in duos digitos divisæ, qui rursus in 12 lineas aut particulas quotcunque æquales alias subdividendi.

4. Tubus denique, ne facile frangatur, canaliculo in tabula LM exciso indatur & superius alio tegatur, ut ex conspectu figuræ haud difficulter apparet.

Quoniam tubus hic idem est cum Torricelliano (§. 87.); baroscopium utique erit hac ratione constructum (§. 89. 120.).

SCHOLION 1.

132. *Non opus esse, ut vasculum ligneum, in quo Mercurius stagnat, sit apertum, & evidenti experimento (z) docui, & propria experientia didici. Meum enim baroscopium non modo vasculum habet undiquaque probe clausum; sed præterea thecæ alteri ligneæ includitur, vix quicquam aëris externi ad superficiem vasculi admittenti. Hoc tamen non obstante mutationes in altitudine Mercurii consueta ratione contingunt.*

(z) in Actis Eruditorum A. 1710. p. 80.

SCHOLION.

133. *Non defuere, qui in eo operam suam collocarunt, ut mutationes sensibiliores efficerent.* Cartesius *primum, postea quoque* Hugenius, *commendarunt tubum* AB *vase cylindrico* CD *instructum & dimidium vasis una cum quadam tubi superioris parte aqua, reliquam vasis partem ac tubum inferiorem Mercurio repleri jusserunt. Advertit vero* Hugenius, *votis non respondere eventum. Etenim aër in aqua contentus vinculis suis sese liberabat & partem tubi superioris vacuam replebat: quo facto, cum aër inclusus rarefieret & condensaretur (§. 23. 24.), depressiones & elevationes Mercurii a gravitatis atmosphæræ variationibus productæ non amplius discerni poterant. Cum adeo didicisset, consultius esse, ut Mercurius locum vacuo proximum occupet, aliam baroscopii compositi constructionem excogitavit, quam problemate sequente explicamus.* Tab. I. Fig. 9.

PROBLEMA 28.

134. *Baroscopium compositum construere.*

RESOLUTIO.

1. Fiat tubus recurvus ADG in A hermetice sigillatus, in G vero apertus & duobus vasis cylindricis BC & EF instructus. T. I f. 10

2. Vasa BC & EF sint inter se æqualia & intervallo 27½ digitorum di-

distent, quanta scilicet est Mercurii in media aëris gravitate altitudo in baroscopio simplici.

3. Baroscopio huic infundatur primum Mercurius, dum baroscopium simplex mediam aëris gravitatem indicat, ita quidem ut a medietate cylindri FE ad medietatem alterius BC assurgat, reliquo spatio ad A usque vacuo non solum a Mercurio, sed ipso etiam aëre crassiore.

4. Postea quoque infundatur aqua communis cum parte sexta aquæ regiæ permixta, ne frigore in glaciem vertatur, donec in tubo GF ad altitudinem unius pedis constituatur. Ita baroscopium compositum constructum.

DEMONSTRATIO.

Mercurius enim ultra libellam Mercurii in vasculo EF contenti per tubum AD assurgens ponderi atmosphærico & liquoris æquilibratur (§. 34 *Hydrostat.*). Aucto igitur atmosphæræ pondere augeri debet columna illa Mercurialis, consequenter liquor descendet. Ast imminuto atmosphæræ pondere, columna Mercurialis quoque imminui debet, consequenter liquor ascendet. Liquoris adeo descensus incrementum gravitatis aëris, ascensus vero decrementum indicat, consequenter instrumentum ita constructum baroscopium est (§. 89.). *Q. e. d.*

SCHOLION.

135. *Baroscopium* Hugenianum *multo minores gravitatis aëreæ mutationes indicare, quam tubus* Torricellianus, *attendentibus manifestum est. Quoniam tamen aqua facile in vaporem agitur, etiamsi ad impediendam evaporationem gutta olei ex amygdalis dulcibus expressi, instilletur, liquori innatatura; loco aquæ oleum Tartari per deliquium infundi potest.*

PROBLEMA 29.

136. *Baroscopium construere, cujus mutationes sint multo sensibiliores quam in barometro ordinario.*

RESOLUTIO.

1. Tubo recurvo ACD, cujus crus CD sit ad alterum AC perpendiculare, cohæreat vasculum cylindricum B, cujus diameter tanto major esse debet, quanto sensibiliores mutationes baroscopium indicare debet. T. I f. II

2. Crure AC in situm horizontalem inclinato, mediante infundibulo baroscopium repleatur Mercurio, ita ut maxima pars tubi vacua sit, nec metuendum, ne in minima atmosphæræ gravitate Mercurius elabatur.

Digitized by Google

3. Cruri horizontali aptetur ſcala in ſuos digitos diviſa & in lineas ſubdiviſa. Dico hoc baroſcopium mutationes gravitatis aëris multo accuratius indicare, quam ordinarium.

DEMONSTRATIO.

Etenim dum pondus atmoſphæræ augetur, Mercurius in vaſculo tanto intervallo aſcendit, quanto in ordinario baroſcopio aſcendere ſolet (§. 120), conſequenter cum diameter vaſculi multo major ſit diametri tubi horizontalis, in hoc multo ampliori intervallo recedit. Incrementa igitur ponderis atmoſphærici multo minora indicare valet, quam baroſcopium commune, ſive ſimplex. Similiter quando pondus atmoſphæræ minuitur, Mercurius in vaſculo tanto intervallo deſcendit, quanto in ordinario baroſcopio deſcendere ſolet (§. 120.), conſequenter cum diameter vaſculi multo major ſit diametro tubi horizontalis; in hoc multo ampliori intervallo verſus orificium excurrit. Decrementa igitur ponderis atmoſphærici multo minora indicat, quam baroſcopium ſimplex.

PROBLEMA 30.

137. *Data diametro tubi* CD *invenire diametrum vaſculi* AB, *ita ut ſcala deſcenſus Mercurii in tubo* DC *habeat ad ſcalam aſcenſus in vaſculo* AB *rationem datam.*

RESOLUTIO.

Sit diameter tubi $= a$, ratio ſcalarum $b : c$, diameter vaſculi $= x$. Cum tantum Mercurii in vaſculum aſcendat, quantum per aëris gravitatem in tubo DC deprimitur, poſitaque ratione diametri ad peripheriam $= d : p$, quantitas Mercurii in tubo recedentis ſit $a^2pb : 4d$ & quantitas vaſculum ingreſſi $= x^2pc : 4d$ (§. 541. *Geom.*); erit Tab. I. Fig. II.

$$\frac{a^2pb : 4d = x^2pc : 4d}{}$$
$$a^2b = x^2c$$
$$x^2 : a^2 = b : c$$
$$x : a = \sqrt{b} : \sqrt{c}.$$

Theorema. Diameter vaſculi eſt ad diametrum tubi in ratione ſubduplicata reciproca ſcalarum.

COROLLARIUM.

138. Datis ergo diametro tubi CD & diametro vaſculi AB una cum ſcala Mercurii in vaſculo, invenitur ſcala in tubo, inferendo: ut quadratum diametri tubi ad quadratum diametri vaſculi ita reciproce ſcala Mercurii in vaſculo ad ſcalam Mercurii in tubo.

PROBLEMA 31.

139. *Datis diametris tuborum & vaſculorum una cum altitudinibus inter-*

tervallorum, per quæ Mercurius descendit, invenire utrum baroſcopia concordent, nec ne.

RESOLUTIO.

Quærantur vera deſcenſus intervalla in eadem menſura (§. 130): quæ ſi utrinque æqualia reperiantur, evidens eſt, barometra inter ſe concordare; ſin minus, diſcordare.

SCHOLION.

140. *Apparet adeo ad judicandam duorum vel plurium barometrorum concordiam, aut veram intervallorum aſcenſus differentiam non ſufficere, ut utrique eadem graduatio applicetur; niſi utriuque vaſculi* (§. 127.) *ea fiat amplitudo ut Mercurius ex tubo delapſus gravitate atmoſphæræ imminuta altitudinem in vaſculo ſtagnantis ſenſibiliter non variet.*

THEOREMA 18.

Tab. I. Fig. 12. 141. *Si tubus Torricellianus* AB *inclinatur, erit cylindrus Mercurialis atmoſphæræ equiponderans ad cylindrum Mercurialem eidem in ſitu tubi verticali æquiponderantem ut longitudo tubi* AB *ad altitudinem* BC.

DEMONSTRATIO.

Si loco ponderis atmoſphærici egreſſum Mercurii ex tubo AB per oſculum A impedientis concipiatur cylindrus Mercurialis iſti æquiponderans in tubo verticali ad A reſiſtere; erit ejus gravitas ad gravitatem Mercurii in tubo inclinato ut longitudo AB ad altitudinem AC (§. 34. *Hydroſt.*). Cum itaque cylindro Mercurii verticali pondus atmoſphæræ æquale ſit; erit etiam gravitas Mercurii in tubo inclinato ad hoc ut longitudo tubi AB ad altitudinem BC. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

142. Si altitudo BC fiat longitudinis tubi vel ſubtripla, vel ſubquadrupla &c. mutationes baroſcopii triplo, vel quadruplo &c. ſenſibiliores evadunt.

COROLLARIUM 2.

143. Si AB ſumatur pro ſinu toto erit CB ſinus anguli inclinationis BAC. Eſt ergo gravitas Mercurii in tubo inclinato ponderi atmoſphærico æquiponderantis ad pondus atmoſphæricum ut ſinus totus ad ſinum anguli inclinationis.

COROLLARIUM 3.

144 Ergo & ſcala integra, & ſingula intervalla aſcenſus deſcenſusque Mercurii reciproci in tubo inclinato AB ob variationes ponderis atmoſphærici ad ſcalam integram & ſingula ejus intervalla in tubo verticali ſunt ut ſinus totus ad ſinum anguli inclinationis. Ductis enim DF ipſi BC & FE ipſi CA parallelis, erit $o = x$ & $v = y$ (§. 245. *Geom.*), conſequenter DE : DF = BA : BA (§. 267. *Geom.*).

PRO-

PROBLEMA 32.

145. *Data longitudine scalæ, per quam Mercurius nunc ascendit, nunc descendit in tubo verticaliter erecto, invenire angulum inclinationis tubi inclinandi, ut scala, per quam Mercurius in ipso nunc ascendit, nunc descendit, habeat ad scalam tubi verticalis rationem datam.*

RESOLUTIO.

Sit longitudo scalæ in tubo verticali $= a$, quia datur ratio scalæ in inclinato ad scalam in verticali, datur etiam scala ipsa in inclinato, quæ sit $= b$. Sit porro sinus totus $= t$, sinus anguli inclinationis $= x$; erit utendo logarithmis $lx = la + lt - lb$ (§. 144.).

CAPUT V.

DE RAREFACTIONE ET CONDENSATIONE, DENSITATE ITEM ET RARITATE AERIS.

THEOREMA 19.

146. *Calor elaterem aëris intendit.*

DEMONSTRATIO.

Aër vesicæ inclusus eadem vi premit, qua aër ambiens, ante caloris actionem (§. 34.). Sed ubi calor in eum agit, vesicam distendit (§. 22.). Tum itaque magis premit, quam ambiens externus (§. 75. *Mechan.*). Enimvero vis illa, qua vesicam distendit, est elater ejus (§. 26.). Calor adeo elaterem aëris intendit. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

147. Quia aër rarefactus iterum condensatur (§. 24.); frigus elaterem ejus minuit.

THEOREMA 20.

148. *Vis elastica aëris, qua rarefiens expanditur, est ad elaterem aëris condensati uti volumen rarefacti ad volumen condensati.*

DEMONSTRATIO.

Ponamus aërem rarefactum ea lege comprimi debere, ut idem recuperet volumen, quod condensatus obtinuerat: evidens est, tantum

tum ponderis imponi debere, quod vi elasticæ æquatur, qua expansus fuit (§. 75. *Mechan.*). Erit igitur elater aëris, qua rarefiens expanditur, ad elaterem condensati, ut pondus illud ad pondus alterum, quo condensatus premebatur (§. 553. *Mechan.*). Est vero pondus rarefacto incumbens idem, quod condensato incumbebat *per hypoth.* Ergo elater aëris, qua rarefiens expanditur, est ad elaterem condensati ut pondus, quod sustentat a rarefactione ad pristinum condensationis volumen reductus, ad pondus, quo rarefactus premitur, consequenter ut volumen rarefacti ad volumen condensati (§. 73.). *Q. e. d.*

PROBLEMA 33.

149. *Aquam vel liquorem alium in vas quoddam per exiguum tubulum immittere.*

RESOLUTIO.

1. Vas igni admoveatur per aliquod temporis spatium.
2. Mox, ubi ab igne iterum removetur, orificium tubuli vel foramen liquori immittatur.

Dico, liquorem sua veluti sponte in cavitatem vasis ascensurum.

DEMONSTRATIO.

Dum enim globus igni admovetur, aër rarefit (§. 23.), consequenter tanto major quantitas expelletur, quanto diutius ad ignem detinetur (§. 8.) Quodsi jam orificium tubuli liquori immergatur, per eum in vas ascendet, dum calor exspirat. Dum enim calor exspirat, cæteris paribus, aëris, quæ restat, portio rarior est externo ambiente, adeoque elater ejus minor quam externi (§. 78.), consequenter quam ponderis atmosphærici (§. 30.). Quare cum circa tubulum liquor a pondere atmosphærico prematur (§. 21.); aqua per tubulum in vas propelletur (§. 75. *Mechan.*). *Q. e. d.*

SCHOLION.

150. *Quodsi prima vice non tantum aëris expulsum fuerit, ut totus globus liquore impleri queat, eadem operatio iteranda. Nec necesse est, liquorem in priore operatione immissum rursus expelli, cum ipse potius ob propriam rarefactionem aëris adhuc residui expulsionem promoveat.*

THEOREMA 21.

151. *Sit globus vitreus* AB *cum annexo tubo* BC, *cujus orificium* C *aquæ immersum; hæreat aqua pendula in tubo usque ad* D: *ascendet, si aër ambiens frigidior, vel gravior evadit; descendet, si calidior, vel levior redditur.* Tab. II. Fig. 13.

Digitized by Google

DEMONSTRATIO.

Si enim aër ambiens frigidior redditur, refrigeratur etiam inclusus adeoque condensatur (§. 24.): quo facto, elater ejus minuitur (§. 78.). Cum igitur is constanter æqualis esse debeat differentiæ ponderis fluidi suspensi a pondere atmosphærico (§. 93.); si minuitur, pondus fluidi, consequenter & volumen ejus (§. 17. *Hydrost.*) augeri debet. Aqua igitur in tubo ascendat necesse est. *Quod erat unum.*

Similiter si aër levior redditur, aqua circa tubum magis premitur, quam sub orificio tubi (§. 10.). Tantum igitur aquæ ascendere debet, quantum sufficit ad æquilibrium cum pondere atmosphærico constituendum (§. 36. *Hydrost.*). *Quod erat secundum.*

Contra si aër externus calefit, calefit quoque inclusus, consequenter rarefit (§. 23), adeoque liquorem in tubo detrudit (§. 8.). Fluidum descendere, si aër levior redditur, eadem ratione demonstratur, qua ostendimus, illud ascendere, si is gravior evadit. *Quod erat tertium & quartam.*

SCHOLION.

152. *Celeberrimus* Hallejus (a) *observavit, uti supra de Mercurio (§. 123.), quod spiritus vini insigniter expansus fuerit, atque ab initio celerius, postea tardius in tubulo ascenderit. Cum spiritus vini duodecima voluminis parte dilatatus esset, manus quidem aquæ calorem ferre poterat, ille tamen ebullire incipiebat. Vereor autem, ne diversitas spiritus vini expansionis gradum variet. In aqua exiguam expansionem notavit idem* Hallejus, *inprimis sub initium, & ebulliens* $\frac{1}{26}$ *circiter spatio prioris augebatur, non amplius expandenda. Quamvis autem ex his experimentis manifestum sit, volumen fluidi calore crescere, frigore decrescere debere, consequenter liquorem ascendere conari, dum ab elatere aëris inclusi deorsum pellitur, & contra, adeoque rarefactionem liquoris obstare descensui ejus, condensationem vero ascensui: experientia tamen constat, hoc obstaculum non impedire, quo minus elateris aërei effectus sint satis sensibiles, quia aër multo magis rarefit & condensatur quam fluidum quodcunque aliud.*

THEOREMA 22.

155. *Densitas aëris, cæteris paribus, crescit in ratione ponderum comprimentium.*

DEMONSTRATIO.

Sunt enim densitates ut gravitates specificæ (§. 33. *Hydrost.*). Gravitates specificæ sunt ut volumina reciproce (§ 29. *Hydrost.*). Ergo

(a) Philos. Transact. n. 197. p. 650. & seqq.

Digitized by Google

Ergo densitates sunt ut volumina reciproce (§. 167. *Arithm.*), consequenter ut pondera comprimentia (§. 73.). *Q. e. d.*

THEOREMA 23.

154. *Aër inferior densior est superiore.*

DEMONSTRATIO.

Aër superior premit inferiorem (§. 21.). Cum adeo inferiori major aëris quantitas incumbat, quam superiori; inferior quoque magis premitur, quam superior (§. 10.). Densitas adeo inferioris major est densitate superioris (§. 153.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

155. Quia corpora densiora sunt graviora rarioribus sub eodem volumine (§. 14 *Hybrost.*) & aër gravis existit (§. 20.); aër inferior specifice gravior est superiore.

THEOREMA 24.

156. *Densitas aëris inferioris non est ponderi atmosphærico proportionalis.*

DEMONSTRATIO.

Si præter variationem ponderis atmosphærici cætera in aëre inferiore omnia essent paria, densitates ejus essent ut pondera atmosphærica (§. 153.). Sed calor aërem rarefacit, frigus condensat (§. 23. 24.), adeoque a calore & frigore densitas diversimode variatur, utut eodem pondere prematur; ac forte adhuc aliæ dantur causæ eandem similiter alterantes. Cum adeo densitas aëris inferioris mutari possit, pondere atmosphærico non mutato, ista huic proportionalis non est. *Q. e. d.*

THEOREMA 24.

157. *Si aër redditur densior, pondus corporum in aëre minuitur; si rarior, augetur.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam gravitates specificæ sunt ut densitates (§. 33. *Hydrost.*); aër densior specifice gravior est rariori. Corpus igitur aëre specifice gravius in densiore majorem ponderis partem amittit, quam in rariore (§. 56. *Hydrost.*). Unde si aër redditur densior, pondus minuitur; si rarior, augetur. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

158. Si igitur densitas aëris sensibiliter alteratur, corporum in aëre rariori æquilibratorum, quorum gravitates specificæ notabiliter differunt, æquilibrium tolletur in densiore, præponderabitque specifice gravius (§. 61. *Hydrost.*).

Digitized by Google

PROBLEMA 34.

159. *Invenire incrementum ponderis, quod volumen aëris unius pedis cubici ob variationem ponderis atmosphærici acquirere valet.*

RESOLUTIO.

Si pondus atmosphæræ cæteris paribus augetur, aër inferior magis comprimitur (§. 21.), adeoque densior evadit (§. 153), consequenter pes cubicus aëris a compressione gravior fit (§. 9. *Hydrost.*). Sit jam pondus atmosphæræ minimum $= a$, maximum $= b$, pondus aëris a minimo compressi $= c$, pressi a maximo $= x$. Cum densitates corporum æqualium sint ut pondera (§. 16. *Hydrost.*): erit

$$\frac{a:b = c:x}{x = bc:a}$$

Ergo incrementum y, quod volumen aëris datum ob ponderis atmosphærici variationem acquirere valet, est $bc:a - c = (bc - ac):a$, consequenter $a:b - a = c:y$.

Theorema. Ut pondus atmosphæricum minimum ad differentiam ejus a maximo, ita pondus aëris a minimo compressi ad incrementum ponderis, quod a tota variatione ponderis atmosphærici acquirere valet volumen aëris datum.

E. gr. Pes cubicus aëris in minima atmosphæræ gravitate sit 507 granorum (§. 57.). Quoniam $a = 26''$, $b = 28''$ (§. 122.): erit $y = 39$ granorum. Incrementum adeo, quod pes cubicus aëris ab omni variatione ponderis atmosphærici suscipere valet, est fere $\frac{1}{13}$ ejus ponderis quod ipsi a minimo pondere atmosphærico presso competit.

DEFINITIO 11.

160. *Manoscopium* est instrumentum, quod alterationes densitatis aëris indicat. *Manometrum* est instrumentum, quod easdem metitur.

PROBLEMA 35.

161. *Manoscopium construere.*

RESOLUTIO.

1. Assumatur bilanx tam accurate constructa, ut minimas æquilibrii mutationes indicet, cujus centrum motus est super centro jugi.
2. Ex altero jugi brachio suspendatur globus ex lamina metallica e. gr. cuprea aut orichalcea constituendus, ne pondus affrictum in libra augeat (§. 948. *Mechan.*), minimas æquilibrii mutationes eluturum. Capacitas globi sit minimum unius pedis cubici, & ex eo educatur aër (§. 40.).

3. Tru-

Digitized by Google

Tab. II. Fig. 14. 3. Trutinæ affigatur Quadrans ADC ex centro jugi B descriptus, ita ut secetur in gradu quadragesimo quinto ab indice BD, si jugum fuerit in situ horizontali.

Dico, Manoscopium esse constructum.

DEMONSTRATIO.

Etenim si aër densior redditur, pondus globi evacuati minuitur (§.158.). Et licet etiam (*vi* §. *cit.*) vis contrapondii minuatur, cum tamen ejus volumen vix spatium a laminæ, ex qua globus constructus, soliditate repletum occupet, nisus ejus deorsum minus minuitur, quam globi (§. 55. *Hydrost.*), consequenter contrapondium globo præponderat, & augmentum gravitatis specificæ aëris, in quo hæret, consequenter & densitatis (§. 33. *Hydrost.*) indicat. Est ergo machina manoscopium (§. 160.).

COROLLARIUM.

162. Quoniam aëris densitas & raritas non modo a pondere atmosphæræ (§ 153), sed & a caloris & frigoris actione pendet (§ 23 24); manoscopium hoc baroscopium esse nequit.

SCHOLION 1.

163. *Equidem* Otto de Guericke (b) *&, qui ipsum sequitur,* Boylius (c) *idem instrumentum pro baroscopio venditant; sed non attenderunt, manente eodem pondere densitatem ac raritatem aëris sæpissime variari.*

SCHOLION 2.

164. *Neque vero putandum est, mutationes gravitatis globi adeo exiguas fore, ut in bilance notari nequeant, experientia enim contrarium abunde satis confirmat. Certe* Guerickius *se expertum scribit, quod globi gravitas interdum quovis, interdum secundo, tertio, quarto, quinto die aliquantum variata fuerit & inprimis ingravescere globum notavit, si pluat. Nec difficulter idem ratione assequimur. Cum enim gravitas unius pedis cubici aerei 39 granorum mutationem ob variatum pondus atmosphæricum sustineat* (§ 159.); *bilanx vero unius vel alterius grani accessionem vel ablationem indicare possit, utut pondere 30 librarum (a quo multum abest globus cum suo contrapondio oneretur* (§ 57.); *si globus evacuatus pedem aëris cubicum capit, quin variationes densitatis ab atmosphæræ pondere variato pendentes manoscopium nostrum indicet, dubitandum non est. Tanto minus autem dubitare fas est, quod aliæ adhuc densitatis variationes a diverso calore ac frigore aëris factæ, nec istis minores accedant. Didicit nimirum* Hallejus *aërem ordinarium in Anglia a calore æstivo extendi* $\frac{1}{12}$ *circiter sui voluminis,*

(b) in Experiment. de Vacuo lib. 3. C. 31. f. 114.
(c) in Historia frigoris tit. 17.

nis, a maximo autem frigore condensari $\frac{1}{40}$ *fere. Cum adeo pondus unius pedis cubici aërei sit 507 granorum* (§. 57); *erit decrementum ponderis in casu priore 32, incrementum in posteriore 25 granorum.*

SCHOLION 3.

165. *Manometri constructionem dedit celeberrimus* Varingnonius (d): *de quo alias nonnulla monuimus* (e).

CAPUT VI.

DE MOTU AERIS.

DEFINITIO 11.

166. *Ventus* est agitatio aëris sensibilis.

PROBLEMA 36.

167. *Data ratione gravitatis specificæ fluidi cujuscunque ad gravitatem aëris, una cum spatio, quod intra definitum aliquod temporis spatium fluidum istud percurrit ab aëre premente impulsum, determinare spatium, quod ipse aër ob æqualem pressionem intra idem tempus emetiri debet.*

RESOLUTIO.

Ponatur altitudo, ad quam per datam aëris pressionem elevari potest fluidum in medio non resistente $= a$. Sit porro ratio gravitatis specificæ fluidi ad gravitatem aëris $= b : c$. Spatium, quod fluidum ab aëre premente impulsum describit, dicatur s, & denique spatium, quod aër ob æqualem pressionem intra idem tempus emetitur, vocetur x. Quoniam altitudines fluidorum, ad quas propter æquales pressiones elevantur, sunt in ratione gravitatum reciproca (§. 36. *Hydrost.*); si altitudo, ad quam aër eandem cum fluido pressionem sustinens eveheretur, modo elatere careret, fiat $= y$; erit $c : b = a : y$, consequenter $y = ab : c$. Sunt vero velocitates, quibus fluida ob eandem pressionem elevantur, in ratione subduplicata altitudinum, ad quas ascendunt (§. 87. 322. *Mechan.*), adeoque in casu nostro ut $\sqrt{a}$ ad $\sqrt{(ab : c)}$. Quare cum ob temporum suppositam æqua-

(d) Memoires de l'Acad. Roy des Sciences A. 175. p. m. 409. & seqq.
(e) in Element. Aerometriæ p. 284.

æqualitatem ſpatia, quæ iſtis temporibus percurruntur, ſint ut velocitates (§. 28. *Mechan.*); erit

$$\sqrt{a} : \sqrt{(ab:c)} = s:x$$

$$a : \frac{ab}{c} = s^2 : x^2 \text{ (§. 260. } \textit{Arithm.}\text{)}$$

$$ac : ab = s^2 : x^2 \text{ (§. 178. } \textit{Arithm.}\text{)}$$

adeoque

$$c : b = s^2 : x^2 \text{ (§. 181. } \textit{Arithm.}\text{).}$$

Theorema. Ut gravitas ſpecifica aëris ad gravitatem fluidi alterius cujuscunque, ita reciproce quadratum ſpatii, quod fluidum hoc quacunque vi impulſum intra quodcunque temporis ſpatium percurrit, ad quadratum ſpatii, quod aër ob eandem preſſionem eodem tempore emetitur.

COROLLARIUM 1.

168. Ergo $x = \sqrt{(bs^2 : c)}$. Unde ſi ponamus, aquam data vi impulſam intra minutum temporis ſecundum percurrere ſpatium 2 pedum; erit $s = 2$, cumque gravitas ſpecifica aquæ ſit ad gravitatem ſpecificam aëris ut 970 ad 1 (§ 57.), erit $b = 970$ & $c = 1$, conſequenter $x = \sqrt{970 \cdot 4} = \sqrt{3880} = 62' . 3''$ fere.

COROLLARIUM 2.

169. Eſt etiam $s = \sqrt{(cx^2 : b)}$, adeoque ſpatium, quod intra certum aliquod temporis ſpatium ob certam quandam impreſſionem fluidum quodcunque emetitur, determinatur, ſi ad duos numeros, quibus ratio gravitatis ſpecificæ fluidi ad gravitatem aëris exprimitur, atque quadratum ſpatii quod aër ob eandem preſſionem intra idem temporis ſpatium emetitur, numerus quartus proportionalis quæratur (§ 302. *Arithm.*) & ex eo radix quadrata extrahatur (§. 269. *Arithm.*).

SCHOLION.

170. Mariottus (f) *notat, ventum ſatis violentum ordinarie ſpatium 24 pedum intra minutum ſecundum deſcribere. Quodſi ergo quæratur ſpatium, quod aqua ob eandem preſſionem, quam aër ſuſtinet, intra idem temporis ſpatium abſolvit, erit* $c = 1$, $x = 24$, $b = 970$ *& reperietur* $s = \sqrt{(576 : 970)} = \frac{24}{31}$.

PROBLEMA 37.

171. *Data altitudine, ad quam fluidum quodcunque a preſſura aëris elevatur, una cum altitudine, per quam corpus grave intra minutum ſecundum deſcendit, determinare ſpatium, quod fluidum iſtud intra minutum ſecundum vi impetus impreſſi motu æquabili percurrit.*

RESOLUTIO.

Sit altitudo, ad quam fluidum ab aëre premente elevatur, $= a$, minutum temporis ſecundum $= b$, ſpatium quæſitum $= x$. Quoniam cor-

(f) Trait. du mouvement des eaux p. 226.

corpus grave per vim cadendo acquisitam elevatur ad altitudinem, per quam decidit (§. 322. *Mech.*); vis aëris prementis, qua fluidum ad datam altitudinem elevatur, æqualis erit vi, quam id per eandem cadendo acquirere valet. Porro vis cadendo acquisita ejus est celeritatis, qua corpus motu æquabili intra idem tempus, quo decidit, describere valet lineam altitudinis, ex qua decidit, duplam (§. 92. *Mech.*). Reperietur adeo spatium, quod fluidum intra idem tempus, quo decidit, vi cadendo acquisita percurrere valet $= 2a$. Sit præterea spatium, quod corpus grave descendens intra minutum secundum describit, $= c$. Quoniam tempora sunt in ratione subduplicata spatiorum a corporibus cadentibus descriptorum, erit tempus, quo grave decidit per spatium a, $= \sqrt{(ab^2 : c)}$ (§ 87. *Mech.*). Quare si motus æquabilis ponatur, habebimus (§ 34. *Mech.*).

$$\sqrt{(ab^2 : c)} : 2b = a : x$$
$$2ab = x\sqrt{(ab^2 : c)}$$
$$4a^2b^2 = x^2 ab^2 : c$$
$$4ac = x^2$$
$$2a : x = x : 2c$$

Theorema. Spatium, quod fluidum ob impetum impressum intra minutum secundum motu æquabili percurrit, est medium proportionale inter altitudinem duplam, ad quam idem ab aëre premente elevatur, & altitudinem duplam ejus, per quam grave intra minutum secundum decidit.

SCHOLION.

172. *Ponamus, Mercurium per pressionem atmosphæræ in tubo Torricelliano sustentari ad altitudinem* $28''$: *erit adeo in problemate nostra* $a = 28''$. *Porro* $c = 15'\ 1''$ *seu* $181''$ (*pedis Parisini*) (§. 473 Mech.). *Ergo* x *hoc est spatium, quod ob eandem pressionem Mercurius motu æquabili tempore unius secundi percurreret* $= 2\sqrt{181.28} = 142''$ *quam proxime seu* $11'\ 10''$. *Ponamus Mercurium elevari per aëris pressionem nonnisi* $2''$. *Erit in casu problematis nostri* $a = 2''$, $c = 181''$, *adeoque* $x = 2\sqrt{181.2} = 38'' = 3'\ 2''$.

PROBLEMA 38.

173. *Data altitudine fluidi, ad quam propter pressionem aëris elevatur, invenire spatium, quod tempore unius minuti secundi ob eandem pressionem percurrere debet aër in medio non resistente.*

RESOLUTIO.

1. Quæratur, quantum spatium ob pressionem aëris, qua ad datam altitudinem elevatur, tempore unius minuti secundi motu æquabili emetiretur fluidum datum (§. 169.). Hinc enim porro

2. In-

2. Investigari potest spatium, quod aër in medio non resistente ob eandem pressionem percurrere debet (§. 167.).

COROLLARIUM 1.

174. Per præsens igitur problema determinari potest spatium, quod aër in vas prorsus evacuatum irruens intra minutum temporis secundum describit. Si enim vas prorsus evacuatum fuerit, aër irruens pressionem sustinet ei æqualem, qua aqua ad altitudinem 32 pedum Parisiensium elevatur (§. 29.) Quare spatium, quod aqua ob istam pressionem tempore unius minuti secundi motu æquabili percurreret est 527'' (§. 171.). Jam cum ratio gravitatis specificæ aquæ ad gravitatem aëris sit 970 : 1, reperietur spatium, quod aër in vas prorsus evacuatum irruens motu æquabili tempore unius minuti secundi percurrere debet, 1367 pedum (§. 167.).

COROLLARIUM 2.

175. Si detur differentia virium elasticarum in duobus voluminibus aëris contiguis, inveniri potest spatium, quod aër ex volumine fortiori elatere instructo irruens in volumen elatere debiliori præditum describit.

SCHOLION.

176. *Sit e. gr. differentia virium elasticarum in duobus voluminibus aëris contiguis ea, qua Mercurius elevari potest ad altitudinem 2 digitorum; reperietur spatium, quod ob istiusmodi pressionem tempore unius minuti secundi motu æquabili Mercurius describere valet 38'' (§. 171.). Cum jam gravitas specifica Mercurii ad gravitatem aquæ sit ut 14 ad 1 (§. 29.) & gravitas aquæ ad gravitatem aëris ut 970 ad 1, erit gravitas Mercurii ad gravitatem aëris ut 13580 ad 1, adeoque reperietur spatium, quod ob æqualem pressionem aër emetiri debet tempore unius minuti secundi fere 369 pedum. Irruet ergo aër ex volumine fortiori in debilius ea celeritate, qua tempore unius minuti secundi fere 369 pedes percurrere valet. Sit differentia virium elasticarum nonnisi 3''': reperietur spatium, quod ob istiusmodi pressionem tempore unius minuti secundi motu æquabili Mercurius describere valet, fere 13'', tandemque spatium, quod ob istiusmodi pressionem tempore unius minuti secundi aer emetiri debet, 126 pedum (§. 167.). Ea igitur celeritate, qua tempore unius minuti secundi spatium 126 circiter pedum percurrere valet, aer ex volumine fortiori in debilius irruit. Quoniam* Mariottus (g) *observat, ventum satis violentum intra minutum temporis secundum 24 pedes percurrere; ejus celeritas multo minor est ea, qua aer irruit ex volumine fortiori in debilius, differentia virium elasticarum nonnisi tanta existente, quanta Mercurium in tubo Torricelliano ad altitudinem 3''' elevare valet.*

COROLLARIUM 3.

177. Quoniam data ratione voluminum aëris primitivi atque compressi inveniri

(g) Traité du mouvement des eaux p. 116.

veniri poteſt altitudo, ad quam aër compreſſus Mercurium in tubo Torricelliano elevare poteſt (§. 83); per problema præſens determinari etiam poteſt celeritas, qua aër ceſſante compreſſione ſeu remota vi premente ſeſe expandit.

PROBLEMA 39.

178. *Dato ſpatio, quod aër intra minutum ſecundum percurrit, determinare preſſionem, quæ celeritatem iſtam producere valet.*

RESOLUTIO.

Preſſionem determinatam eſſe patet, ſi conſtet altitudo, ad quam fluidum quodcunque in tubo vacuo ab aëre elevandum, tantam preſſionem producere valente. Sit itaque hæc altitudo $= x$, ſpatium quod aër intra minutum ſecundum percurrit $= a$, ratio gravitatis ſpecificæ fluidi ad gravitatem aëris $= b:c$; altitudo denique per quam corpus grave intra minutum ſecundum deſcendit $= d$; reperietur ſpatium a fluido tempore unius minuti ſecundi percurrendum $= \sqrt{(a^2c:b)}$ (§. 169). Hinc porro elicitur (§. 171) altitudo quæſita $= a^2c:4bd$. Eſt itaque

$$4bd : ac = a : x.$$

Theorema Spatium, quod aër tempore unius minuti ſecundi percurrit, eſt ad altitudinem, ad quam fluidum in tubo vacuo elevandum, ut preſſionem efficiat celeritati, qua iſtud deſcribitur, producendæ ſufficientem, in ratione compoſita gravitatis ſpecificæ fluidi ad gravitatem aëris atque altitudinis quadruplæ, per quam corpus tempore primi minuti ſecundi deſcendit, ad ſpatium aëris prædictum. Sit e. gr. $a = 24'$, ſeu $288''$ ratio Mercurii ad aërem $b:c = 13580:1$ (§ 176.), $d = 181''$ (§ 473 *Mechan.*); erit x minor unica linea ſeu duodecima digiti parte.

SCHOLION 1.

179. *Apparet adeo, quod exiguas mutationes in baroſcopio, ſed ſubitae, ingentes admodum procellæ ſubſequi debeant: id quod experientiæ conſentaneum theoriam noſtram confirmat.*

SCHOLION 2.

180. *Equidem de actione venti in corpora jam porro agi hic poterat, ac inprimis determinandus erat ſitus alarum in molendino alato, qualis nempe requiratur, ut ad eas circa axem convertendas vim maximam adhibeat ventus: enimvero cum hic opus ſit principiis generalibus de motu fluidorum, quæ in Hydraulica demum docentur; ideo ibidem univerſali ratione hoc argumentum exequemur, ne minus dixiſſe videamur, cum plus dicere poſſemus.*

DEFINITIO 13.

181. *Anemometrum* eſt inſtrumentum, quo vim ventorum metimur.

PROBLEMA 40.

182. *Anemometrum conſtruere.*

RE-

RESOLUTIO.

Tab. II. Fig. 15. 1. Construantur alæ ABCD, quales in molis alatis adhiberi solent, multo tamen minores, a plano verticali sub angulo 54 circiter graduum reclinatæ.

2. Axi, cui alæ infiguntur, aptetur etiam cochlea perpetua EF, quæ

3. Circumacta deprimat dentes rotæ stellatæ GH.

4. Axi per centrum transeunti infigatur ad angulos rectos brachium satis longum IK, in medio canaliculi instar excavandum, ut intra cavitatem pondus plumbeum L sursum deorsum libere moveri possit, ipsique (nempe brachio) ex altera axeos parte æquilibretur brachium minus *y*.

5. Brachii majoris IK longitudo in quotcunque partes æquales dividatur, quarum singulæ radio axis æquantur.

6. Eidem axi infigatur index MN brachio IK ad angulos rectos insistens, & extra cistam, cui rota stellata cum cochlea perpetua inclusa, eminens.

7. Denique ex centro axis in pariete cistæ exteriore describatur quadrans circuli in 90 gradus more solito dividendus, ab indice vel ascendente, vel descendente indicandus.

Dico, Anemometrum esse constructum.

DEMONSTRATIO.

Manifestum enim, si alæ ABCD vento opponantur, cochleam perpetuam EF circum volvi atque adeo rotam stellatam GH in orbem agere. Quare cum brachium IK cum rota stellata GH eidem axi infigatur, *per construct.* ubi hæc circumagitur, illud cum pondere L elevabitur. Quoniam vero distantia ponderis a centro motus continuo fit major, quo altius elevatur; tanto quoque gravius fiat necesse est, quo altius attollitur (§. 796. *Mechan.*). Vis igitur venti, quæ per minorem angulum elevare potest pondus, non ideo idem elevare valet per angulum majorem. Quamprimum itaque ponderis gravitatio vi venti ipsum elevantis æqualis evadit, motus machinæ sistatur necesse est (§. 75. *Mechan.*) & quia cochlea perpetua EF rotam quidem GH circumagere potest, ipsa autem a rota circumagi nequit, brachium IK cum pondere L relabi nequit. Index adeo semper indicat, quantus sit angulus elevationis ponderis, ubi

Digitized by Google

eidem vis venti æquilibratur: unde determinabitur vis venti (§ 793. *Mechan.*), atque adeo per machinam nostram ratio virium ventorum determinari potest, hoc est, vires venti metiri licet (§. 23 *Geom.*). Est igitur anemometrum (§. 181.). *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

183. *Ut hæc machina sine ullius adjumento alas* ABCD *vento semper obvertat, cistæ* ST *plano, quod aliis opponitur, ad angulos rectos affigendus est asserculus* POQR *figuram trapezii parallelarum basium habens. Ventus enim incidens in asserculum* POQR, *machinam circa axem pedamenti mobilem convolvet, donec alæ vento opponantur. Alias directio ad ductum vexilli e centro machinæ erecti fieri potest, ut in molendinis vulgaribus alatis.*

SCHOLION 2.

184. *Brachio* IK *contrapondium* y *additur, ut instar lineæ gravitate carentis considerari possit, nec tædia calculi præter necessitatem multiplicentur.*

THEOREMA 26.

185. *Si elater aëris alicubi debilior evadit quam in locis contiguis, ventus flat per locum, in quo elater imminutus.*

DEMONSTRATIO.

Cum aër per elaterem suum quaquaversum se expandere nitatur (§. 26.); si elater uno in loco minor, quam in altero, nisus aëris vi elastica majore præditi adversus aerem vi elastica minore instructum major erit, quam hujus adversus istum. Ergo aër minus elasticus vi minore resistit, quam a magis elastico urgetur, consequenter minus elasticus loco suo pellitur & magis elasticus in eum succedit. Quodsi adeo excessus elateris in aëre magis elastico super elaterem minus elastici is sit, qui exiguam in baroscopio mutationem inducere valet; motus quoque tam aëris expulsi, quam in ipsius locum succedentis sensibilis evadat necesse est (§. 176.). Flat ergo ventus per locum, quem aër minus elasticus replet (§. 166.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

186. Cum aucto pondere comprimente elater augeatur (§. 553. *Mech.*) aër vero compressus sit densior minus compresso (§. 78.): ventus flat per aërem rariorem ex loco, qui densiore repletur.

COROLLARIUM 2.

187. Quamobrem, quia aër densior rariore specifice gravior (§. 33. *Hydrost.*); extraordinaria aëris aliquo in loco levitas cum ventis extraordinariis seu procellis conjungi debet.

CO-

Digitized by Google

COROLLARIUM 3.

188 Jam descensus Mercurii extraordinarius in baroscopio aëris levitatem extraordinariam indicat (§. 120.). Non ergo mirum, quod procellas portendat, si subito fiat.

SCHOLION.

189. *Non tamen necesse est, ut aeris levitas semper cum ventis conjungatur. Sufficit enim gravitatem aeris subitas pati mutationes. Hinc ventum sat valide flantem hoc ipso temporis articulo experimur, utut in media altitudine, 29 nempe digitorum Anglicorum, Mercurius in baroscopio consistat, nec nisi $\frac{1}{16}$ unius digiti depressior nunc factus, quam heri erat. Immo in maxima depressione ventus sæpe nullus spirat, quia depressio successive, non subito facta.*

COROLLARIUM 4.

190. Si aër alicubi subito condensatur, elater ejus subito minuitur (§ 148.). Quodsi ergo hæc imminutio ea fuerit, quæ in baroscopio vix indicari possit (§.176. 178.); ventus per aërem condensatum flabit.

COROLLARIUM 5.

191. Quoniam vero subito condensari nequit, nisi magnam ante passus fuerit rarefactionem (§ 6. 8.); ventus flabit per aërem, dum post æstum vehementem refrigeratur.

COROLLARIUM 6.

192. Similiter si aër subito rarefiat, elater ejus subito intenditur (§. 148.), adeoque defluet per contiguum actioni vis rarefacientis non obnoxium (§. 75. *Mechan.*). Flabit ergo ventus ex loco, in quo aër subito rarefit.

COROLLARIUM 7.

193. Cum vires solis in rarefaciendo aëre notissimæ sint; solem in ventorum genesin influere manifestum est (§. 5. 6.).

PROBLEMA 41.

194. *Ventum excitare adversus plagam desideratam spirantem.*

RESOLUTIO.

1. Construatur vas cylindricum AB D ex ligno, cujus diameter AB & altitudo AC eo major esse debet, quo impetuosior ventus excitandus. Tab. II. Fig. 16.
2. Vas ipsum fit undiquaque probe clausum, solo foramine in E gaudens, cui tubus EF utrinque apertus ante immittendus.
3. Per medium cylindrum transeat axis mobilis HI quatuor brachiis cum aliis coriaceis K, L, M, N, & curriculo O extra vas instructus. Habeat vero curriculus 6 vel 7 bacillos.
4. Curriculo occurrat rota dentata PQ cum axe curvato RS 30 vel 28 dentes habens.

Dum ergo axis SR curvatus semel convolvitur, alter erectus IH 5 vel 4 conversiones absolvit adeoque alæ L, M, N, K per aërem inclusum

 celer-

Digitized by Google

celerrime feruntur eundemque per tubum expellunt. Cum adeo tubus versus plagam desideratam dirigi possit; ventus excitabitur (§. 166.) adversus plagam desideratam spirans. *Q. e. f.*

SCHOLION.

195. *Cum in molis frumentariis axis ferreus* HI *cum curriculo* O *occurrat* (§. 975 Mechan); *hoc artificio sub lapidibus molaribus facile excitatur ventus partes a granis frumenti abrasas a nucleo eorum separaturus. Tum vero tubus* EF *sacci vices sustinet, & basis* GF *declivis, in* G *vero foramen esse debet, ut grana graviora per hoc decidant, leviores autem partes abrasa a vento per* F *ejiciantur. Hoc artificio uti quoque liceret ad paleas a frumento post triturationem separandas, additis addendis, quæ nunc fusius exponere non est nostri instituti.*

CAPUT VII.

DE
CALORE AC FRIGORE, ITEMQUE HUMIDITATE AC SICCITATE AERIS.

DEFINITIO 14.

196. **T**hermoscopium* est instrumentum caloris ac frigoris in aëre incrementa & decrementa indicans. *Thermometrum* vero est instrumentum, quo calorem ac frigus aëris metiri licet.

DEFINITIO 15.

197. *Hygroscopium* est instrumentum, quod humiditatis & siccitatis in aëre incrementa & decrementa indicat. *Hygrometrum* vero est instrumentum, quo humiditatem & siccitatem aëris metimur.

PROBLEMA 42.

198. *Thermoscopium construere.*

RESOLUTIO.

1. Tubo BC, qui globo vitreo AB cohæret, immittatur aqua communis regiæ permixta & ab orichalco in hac soluto viredine tincta (§. 149.). Opera vero danda est, ut tantum aëris in globo & tubo relinquatur, qui hieme Tab. II. Fig. 17.

hieme maximam condensationem passus globum exacte repleat & æstate ad summum rarefactionis gradum perductus non omnem ex tubo BC liquorem expellat.

2. Tubus immittatur vasculo vel alteri ejus extremo cohæreat globus CD apertus, ut aër ejici, iterumque ingredi libere possit. & in quo similis liquor contineatur, qualis in tubum immissus.

3. Ab utroque latere tubi applicetur scala EF in particulas quotcunque æquales dividenda.

DEMONSTRATIO.

Si enim aër ambiens fit calidior, liquor in tubo descendit: si is frigidior evadit, hic ascendit (§. 151.). Incrementa, igitur caloris & frigoris indicat hoc instrumentum, adeoque thermoscopium est (§. 196.). *Q. e. d.*

Aliter.

1. Eodem artificio, quo ante, & cum eadem cautione, in tubum BC in varios gyros contortum commoditatis gratia (ne scilicet longior spatium nimis longum occupet, nec facile damnum patiatur) immittatur pauculum Mercurii, pisi magnitudinem non excedens.

2. Tubulus dividatur in partes quotcunque æquales, quæ scalæ vicem sustineant.

Accessus Mercurii ad globum frigoris; recessus vero ejusdem a globo caloris incrementa indicabit.

DEMONSTRATIO.

Eadem est, quæ præcedens.

COROLLARIUM 1.

199. Quia liquor in thermoscopio primo & Mercurius in altero etiam ascendit, si aër gravior redditur; contra vero descendit, si levior evadit (§. 151): caloris ac frigoris incrementa non satis fideliter exprimit.

COROLLARIUM 2.

200. Quoniam tamen mutationes admodum sensibiles sunt; si aliorum corporum calor examinandus, commode thermoscopio altero utimur: exiguo enim temporis spatio, quo experimentum instituitur, gravitas atmosphæræ sensibiliter non mutatur.

SCHOLION.

201. *Quodsi in thermoscopio primo liquorem colore intense rubro & admodum grato tingere volueris; aquam ferventem affunde foliis florum simplicium atque rubidorum malvæ hortensis arefactis, ut color extrabatur. Quodsi enim tincturæ aquam regiam*

regiam affuderis, non sine jucunditate colorem intense rubrum emergentem contueberis, reliquos omnes longe antecellentem, quibus huc usque usi sunt artifices.

PROBLEMA 43.

202. *Thermoscopium Florentinum construere.*

RESOLUTIO.

Cum Academici Florentini perpenderent incommoda, quibus thermoscopium paulo ante descriptum premitur (§. 198.); mensuram caloris & frigoris quæsivere in rarefactione spiritus vini, utut rarefactione aëris longe minore (§. 152.). Thermoscopium vero ab ipsis repertum ita construitur:

1. Frustulis ex radice curcumæ aut anchusæ resectis affundatur spiritus vini rectificatissimus, seu qui, dum accensus conflagrat, pulverem pyrium accendit; a priore enim radice colore flavo, a posteriore autem rubro tingetur.
2. Postea spiritus vini iterum iterumque filtretur per chartam bibulam, ut particulæ crassiores ex radice extractæ remaneant.
3. Spiritu vini tincto & filtrato impleatur globus vitreus AB cum tubo BC. Ne autem hieme spiritus omnis in globum descendat; globum immittere juvat nivi multo sale conspersæ aut (si æstivo tempore thermoscopium parare volueris) aquæ fontanæ frigidæ, in qua multum nitri solutum, ut spiritus condensatus indicet terminum, quem maximo frigore attingere valet.

Tab. III. Fig. 19.

4. Quodsi a globo longiore intervallo adhuc distet, aliqua ejus portio rursus expellenda. Ne autem tubus justo longior fiat, globus spiritu plenus aquæ calidæ carbonibus candentibus impositæ immittatur & notetur terminus, ad quem pertingit, ubi ebulitioni proximus.
5. Hoc ergo termino ad flammam lampadis admoto, tubus hermetice sigilletur.
6. A latere denique affigatur ut in probl. præc. scala EF in particulas quotcunque æquales divisa.

DEMONSTRATIO.

Quoniam spiritus vini rarefit & condensatur (§. 152.); calore crescente, in tubo ascendet (§. 8.); decrescente, descendet (§. 6.); Caloris igitur incrementa & decrementa instrumentum indicat, consequenter thermoscopium est (§. 196.). *Q. e. d.*

CO-

COROLLARIUM 1.

203. Si spiritus vini per multos gradus scalæ ascendit, calorem multum crevisse constat; si descendit, eundem multum decrevisse intelligitur: quoniam tamen ratio caloris hodierni ad hesternum non indicatur, instrumentum calorem non metitur (§ 23 *Geom.*) adeoque thermometrum non est (§ 196.).

COROLLARIUM 2.

204. Liquor in tubo vi gravitatis suæ deorsum nititur (§. 4 *Mechan*), adeoque ex globo in ipsum ulterius ascendenti resistit tanto quidem magis, quo altius jam ascendit (§ 10). Præstaret itaque, situm tubi BC esse horizontalem.

COROLLARIUM 3.

205. Cum necessario aliquid aëris super liquore in parte tubi vacua existat, is vi elateris deorsum nititur (§.26.), adeoque ascensui liquoris resistit. A liquore ascendente comprimitur (§.17). Quare elater ipsius augetur (§. 79.) ab actione caloris forte ulterius intendendus (§.146.).

COROLLARIUM 4.

206. Cum experientia constet, remissiorem caloris gradum facilius cum spiritu vini in globo communicari, quam vehementiorem; rarefactiones spiritus vini viribus productricibus proportionales non sunt, inprimis cum & vehementior caloris gradus plus liquoris in tubulo offendat, quam remissior, cui tamen facilius communicari potest calor, quam in globo stagnanti. Thermoscopium adeo Florentinum, accedente inprimis resistentia inæquali (§. 204. 205.), thermometrum non est (§. 196.).

SCHOLION 1.

207. Hallejus *autor est, se didicisse ex iis, qui spiritum vini diu asservarunt, quod is successu temporis partem vis expansivæ amittat* (g). *Sed meretur res accuratiori examini subjici, vi eorum, quæ de legibus experientiarum alibi tradidimus* (h).

SCHOLION 2.

208. *Varii variis modis gradum fixum caloris ac frigoris quæsiverunt, a quo utriusque gradus reliqui computentur, ut observationes eodem vel diverso tempore in pluribus locis factas conferre inter se liceat. Aliqui locum notant, in quo liquor hieme hæret, dum aqua congelare incipit, iterumque alterum tempore æstivo, dum butyrum juxta globum thermoscopii positum liquefit. Spatium intermedium in duas partes æquales dividunt, quod divisionis punctum in ipsorum graduatione calori temperato respondet. Partem utramque in 10 gradus subdividunt, tandemque quatuor istiusmodi gradus infra gradum congelationis aquarum, quatuor itidem super gradum liquationis butyri transferunt. Notandum vero divisionem fieri thermoscopio in umbra collo-*

(g) Transact. Anglic. n. 197. p. 650.
(h) Act. Erud. A. 1708. p. 163. & seqq. conf. Logica §. 664. & seqq.

Digitized by Google

collocato, & ne observationes turbentur, versus eandem constanter plagam instrumentum dirigi debere, quam respiciebat, cum divisio absolveretur. Enimvero supponunt, congelationi aquæ cujusvis eundem gradum frigoris & liquationi butyri cujusvis eundem gradum caloris respondere, ac singula thermoscopia ab eodem caloris vel frigoris gradu easdem recipere impressiones. Posterius autem fallere non ignorant, qui experientia edocti, thermoscopia eidem parieti affixa non eundem constanter caloris gradum ostendere, utut eadem utrique graduatio fuerit applicata. Et valde vereor, ne priorem cura examinaturi contrarium similiter experiantur. Differunt enim aquæ inter se, differunt inter se butyra: id quod vel sola gravitatis specificæ variatio monstrat, ut alia taceamus quæ meditantibus & experimentantibus se offerent.

SCHOLION 3.

209. *Suadent alii, ut globus thermoscopii nivi vel glaciei multo sale conspersæ immittatur, & gradus, ad quem spiritus subsistit notetur. Hinc thermoscopium in cellam profundam transferunt, quorsum aëris externi nihil pertingit, ut actionem aëris temperati recipiens gradum caloris temperati indicet. Denique spatium intermedium in 15 vel plures partes æquales dividunt, etiam supra gradum caloris temperati transferendas, ut graduatio integra absolvatur. Sed ut non urgeam, quæ in scholio præcedente jam abunde dicta sunt, quis quæso respondeat quærenti: an omni nivi idem sit frigoris gradus? An omni sali eadem vis corrodendi lamellas nivis glaciales? Suppone enim, frigus a sale nivi permixto produci, quatenus corrodit lamellas glaciales & abrasis superficieculis earundem interiorem nucleum summe frigidum corporibus frigefaciendis applicari facit.*

SCHOLION 4.

210 *Celeberrimus* Hallejus *pro termino fixo assumit eum caloris gradum, quo spiritus vini ebullire incipit. Enimvero jam supra monuimus, quænam ratio sit suspicandi, forte nec hunc gradum esse usque adeo fixum. Et licet post ipsum* Amonton (i) *retinuerit ipsum gradum caloris, qui aquæ ebullienti convenit, dum thermoscopium Mercuriale construxit, & postea* (k) *hujus ope thermoscopio Florentino talem graduationem applicari docuerit, qua ab eodem caloris gradu reliquos computat: id tamen dubii remanet, cum diversa sit aquarum gravitas specifica, quæ in ipsa ac texturæ diversitatem arguit, num calor aquarum ebullientium omnium idem sit: unde operæ pretium facient rerum naturalium scrutatores, si factis accuratis experimentis inquirant, quinam sit gravitatis fluidorum specificæ ad calefactionem eorundem respectus.*

SCHOLION 5.

211. *Nondum excipere licet, istiusmodi minutias in praxi non esse attendendas: neque enim hactenus demonstratum, quod irregularitates a causis memoratis pendentes sint minutiæ. Lis igitur adhuc pendens*

(i) Memoires de l'Acad. Royal des Scient. A. 1702. p. m. 210. & seqq.
(k) Memoir. de la meme Academ. A. 1703. p. m. 63. & seqq.

Digitized

dens nonnisi pluribus experimentis a pluribus præsertim pluribus in locis factis dirimenda.

SCHOLION 6.

212. Carolus Renaldinus (l) *tradit modum integram graduationem methodo experimentali determinandi, ut habeantur gradus inæquales æqualibus gradibus caloris, dum intenditur, respondentes, quam collectores Actorum Eruditorum Lipsiensium* (m) *his verbis describunt:* „Capiatur „tubus gracilis, longitudinis circiter qua „tuor palmorum, cum annexa bulla, ei „que infundatur spiritus vini tantum, ut „sphærula glacie circumdata omnino re „pleatur, neque tamen aliquid redundet, „orificiumque tubi sigilletur hermetice. „Deinde parentur sex vasa, quorum „quodlibet aquæ libram & aliquid amplius „potest recipere, & in primum infundan- „tur aquæ gelidæ unciæ 11, in secundum „unciæ 10, in tertium 9 & sic porro. His „peractis thermometrum mergatur in vas „primum eique affundatur aquæ ferven- „tis uncia una, observeturque quo usque „ascendat spiritus in collo & locus unita „te notetur. Porro transferatur in vas „secundum, cui injectæ aquæ ferventis „unciæ duæ denuoque notetur locus, ad „quem ascendit spiritus, noteturque bi- „nario & sic deinceps. Quodsi cui pla- „ceat ulterius procedere, donec tota aquæ „libra sit insumta, perfectius erit instru- „mentum elaboratum, nempe duodecim „numeris aut asteriscis distinctum, quibus „caloris termini denotantur.

SCHOLION 7.

213 *Facile incautis imponere poterat* Renaldinus, *ut sibi persuaderent, hac ratione exactam caloris mensuram obtineri. Habes enim duodecim caloris gradus & effectus respondentes gradui uni, duplo, triplo, quadruplo &c. Unde vicissim cognoscentur gradus simpli, dupli, tripli, quadrupli &c. caloris. Dabitur igitur ratio caloris hujus diei ad calorem cujuscunque alterius, consequenter calorem metiri licet* (§. 23. Geom). *Atat! non nimis confidenter pronunciandum. Examinemus, quæso, supposita, ne forte aliquid esse ponamus, quod non est, sicque erroneam conclusionem pro vera eliciamus. Supponitur, nos habere gradum caloris simplum, si* 11 *unciis aquæ gelidæ affundatur una ferventis; gradum duplum, si* 10 *affundantur duo; triplum, si* 9 *tres; quadruplum, si* 8 *quatuor &c. affundantur. Supponitur porro calorem simplum vi simpla, duplum dupla, triplum tripla, quadruplum quadrupla &c. uniformiter agere in spiritum vini in globo contentum. Supponitur denique, si idem effectus in thermoscopio a calore aëris ambientis producitur, qui ab aqua calida producebatur, aëri eundem competere caloris gradum, qui aquæ conveniebat. Enimvero nullum ex his suppositis verum est. Quod enim primum attinet, concedamus interea, calorem aquæ ferventis, si frigidæ affundatur, per hanc æqualiter distribui. Distribuentur adeo unus caloris gradus per partes undecim; duo per* 10; *tres per* 9; *quatuor per* 8 *&c. Si itaque assumamus æqua-*

(l) in Philos. Nat. differt. 16. sect. 12.
(m) Supplement. Tom. 2. sect. 10. p. 453.

Digitized by Google

æqualia istarum aquarum volumina, e. gr. Singularum partes duodecimas, non erit calor duplus in altero, triplus in tertio, quadruplus in quarto casu &c. Fallit ergo suppositum primum. Sed non minus fallit alterum: neque enim calor aquæ ferventis per frigidam, cui affunditur, æqualiter diffunditur; nec calor aquæ calidæ in spiritum vini uniformiter agit, id est, eadem vi per omne tempus actionis suæ. Prius experientiam vulgi non fugit, ut adeo id aliis experimentis & rationibus confirmari non opus sit. Posterius facillime ostenditur. Notum nimirum est, requiri aliquod temporis spatium, antequam calorem suum cum spiritu vini per globum vitreum communicet aqua calida. Sed per totum illud temporis spatium eundem calorem aqua non retinet, cum eum continuo exhalet. Nequaquam igitur habentur effectus veri graduum caloris simpli, dupli, tripli, quadrupli &c. si vel maxime efficeretur, ut calor in aquis diversis sub initium immersionis globi esset nunc simplus, nunc duplus nunc quadruplus &c. Calor denique ambientis aeris non modo in spiritum vini in globo, sed & in tubo contentum agit, adeoque non istum modo, verum etiam hunc rarefacit. Immo nondum constat, num omnia fluida, in quibus idem est gradus caloris, eadem facilitate cum alio corpore calorem suum communicent: nec forte hæc disquisitio multum tractabilitatis promittit. Taceo alia, quæ hic urgeri possent. Sufficit Satis constare, methodum Renaldinianam *suppositis niti partim precariis, partim manifesto falsis, ut adeo ratio nulla sit, cur vulgari divisioni in partes æquales hæc in partes inæquales divisio mechanica præferatur.*

SCHOLION 8.

214 *Cæterum quamvis mutationes thermoscopii Florentini admodum sensibiles existant, ita ut spiritus vini per notabile intervallum ascendat, manu calida admota, iterumque descendat, ea remota; ubi tamen per insigne intervallum tempore hiemali descendit, ascensus intervalla decrementis frigoris non satis respondent. E gr. hoc ipso* (n) *anno d 9. Jan. h. 8 mat. liquor in thermoscopio meo descenderat usque ad 72mum gradum scalæ frigoris, cum consueta phænomena frigus intensum loquerentur: sed cum d 18 Jan. eadem hora tempestate jam multo mitiore ad gradum 80mum subsisteret, hora tertia, qua nix & glacies ad pristinum fluiditatis statum reducebantur, spiritus ad 72mum hærebat. Scilicet ad eundem sæpius gradum depressus cernitur liquor, cum tamen phænomena alia diversitatem caloris ac frigoris insignem manifesto prodant. Immo interdum depressio spiritus major cum effectibus frigoris remissioris; minor vero cum effectibus multo intensioris conjungi solet. Et hæc observantur, etiamsi thermoscopium collocetur in loco, ad quem aeri externo liber patet aditus. Ratio phænomeni hæc mihi videtur. Experientia constat, frigore invalescente multum aeris ex fluidis expelli: id quod testantur vesiculæ tum superficiebus vitrorum, in quibus continentur,*

(n) scilicet 1713. quo prima horum Elementorum editio prodiit.

tur, adhærentes. Extra dubium itaque positum videtur, frigore intenso ex spiritu quoque vini in thermoscopio aerem ejici & per tubi vacuam partem expandi. Cum adeo aer ambiens calidior rursus redditur, inclusi elater augetur spirituique ascensuro resistit (§.146.). *Quoniam vero per experimenta* Mariotti (o) *determinata quædam aeris quantitas in fluido salis instar dissolvitur: aer a frigore expulsus crescente calore sensim sensimque spiritui rursus permiscetur: quod antequam fiat, altitudines caloris incrementa indicantes semper erunt justis minores.*

EXPERIENTIA 6.

215. *Funem cannabinum ex duplici filo contortum humectavimus & longitudinem ejus notabiliter minui animadvertimus; ubi vero denuo exsiccabatur, ad pristinam redibat dimensionem. Multo autem brevior evadebat, ubi sub aqua per aliquod tempus ipsum detinueramus. Huc pertinent, quæ* Schwenderum *expertum esse in Geometria* (p) *annotavimus. Et* Guilielmus Molyneux, *Armiger atque Societatis Dublinensis Secretarius, istiusmodi funem humectatum cum appenso pondere suspendit, eumque pro ratione exsiccationis resolvi animadvertit. Cum pelvim aqua calida plenam admovisset, ascendente vapore funis denuo velociter contortus, eoque cessante rursus resolutus. Immo halitu oris octies aut decies repetito, funem contorqueri didicit celeriterque resolvi admota prope uncum candela aut ferro ignito* (q).

COROLLARIUM.

216. Sola igitur humiditas aëris funium cannabinorum longitudinem notabiliter abbreviare, ipsosque funes arctius contorquere valet.

SCHOLION.

217 *Humor nimirum dimensionem funis secundum diametrum auget. Sed cum gyri spirales filorum contortorum fere in circulares abeant autopsia teste, dimensio secundum longitudinem decrescit. Abbreviationis igitur causa non modo ab insinuatione humoris in poros funium, sed & inprimis a spirali eorundem textura petenda.*

EXPERIENTIA 7.

218. *Idem in nervo aliquo fidium, cujus longitudo erat* 1′ 14″ *circiter juxta mensuram Rhenanam, experti sumus. Cum enim eundem duobus clavis utraque sui extremitate alligatum juxta fenestram apertam extendissemus & ope pauculæ ceræ indicu-lum*

(o) Essay de la Nature de l'Air p. 97. & seqq.
(p) §. 129. p. 133.
(q) Philos. Transact. Anni 1685. n. 162. p. 1032. conf. Acta Erudit. A. 1686. p. 389. 390

lum ligneum applicassemus, per complures dies non sine voluptate nervum contorqueri advertimus, cum sole oriente ros decideret, ita ut fere semicirculum intra exiguum temporis intervallum indiculus descripsisse notaretur. Ast Solis radiis illustratus nervus iterum resolvebatur atque indiculum ultra terminum reducebat, in quo eum sub ortum solis conspexeramus, cum fenestram cubiculi noctu clausam primum aperiemus. Non tamen singulis diebus æquales indiculi itus reditusque notavimus. Eundem nervum sub aqua demersum sensibiliter contorqueri didicimus: satis enim celeres ejus intra aquam convolutiones notavimus, non secus acsi duo manibus prehendentes ejus extremitates ipsum vi contorquerent. Extracti ex aqua minorem longitudinem notavimus, quam cum eundem aquæ immitteremus, & radiis licet solaribus exsiccatus ad pristinam longitudinem reducturi vires eludebat.

SCHOLION.

219. *Similia se expertum testatur* Sturmius (r). *Non ignoro, quod alii (s) contrarium accidere affirmant; sed quid alii experti sint, mihi quidem haud constat, cum circumstantias singulares non annotent. Mihi rem enarrare libuit, prouti eandem expertus sum.*

PROBLEMA 44.

220. *Hygroscopium construere.*

RESOLUTIO.

1. Funem cannabinum aut nervum fidium AB juxta parietem extende super rotula B alterique ejus extremo D pondus E alliga, cui infixus sit stylus FG. Tab. III. Fig. 20.

2. Eidem parieti affigatur lamina metallica HI, in partes quotcunque æquales divisa.

Dico hygroscopium esse constructum.

DEMONSTRATIO.

Cum enim humor funium & chordarum longitudinem sensibiliter abbreviet, humore autem rursus exspirato iterum resolvat (§. 215. 218.); pondus humore aëris aucto ascendet, imminuto descendet. Et quoniam index FG in lamina HI spatium monstrat, per quod pondus ascendit, vel descendit, intervalla vero ascensus &

(r) in Colleg Curios. part. 1. tent. 14. phæn. 5. p. 124. & seqq.
(s) Traites des barometres, thermometres & notiometres p. 94.

& descensus decrementis ac incrementis longitudinis funis aut nervi fidium ABD æqualia sunt; instrumentum indicat, num dato hoc tempore aër plus alat humoris, quam alio habuit. Est igitur hygroscopium (§. 197.). *Q. e. d.*

Aliter.

Tab. III. Fig. 21. Si hygroscopium sensibilius desideres, funem aut nervum fidium circa plures trochleas A, D, E, F & G circumvolve & reliqua fiant ut ante. Perinde vero est, sive parte funis AB, AD, DE, EF, FG sint horizonti parallelæ, ut in schemate expressimus, sive ad eundem perpendiculares: prouti nempe quolibet in casu commodum visum fuerit.

DEMONSTRATIO.

Eadem est cum præcedente.

Aliter.

Tab. III. Fig. 22.

1. Funis cannabinus AC aut nervus fidium altera sui extremitate unco ferreo A alligetur, altera vero C in centro tabulæ ligneæ EF horizontaliter positæ firmetur.
2. Prope C infigatur pondus plumbeum D unius circiter libræ cum annexa regula DG.
3. Ex centro C in tabula describatur circulus in partes quotcunque æquales dividendus.

DEMONSTRATIO.

Cum enim funis cannabinus atque nervus fidium levi quodam humore aëris, qualem secum vehit halitus oris, imbutus velociter contorqueatur, eodem autem exhalante rursus extemplo resolvatur (§. 215. 218); evidens est, quod humore aëris aucto index quantitatem contorsionis vel resolutionis monstrare, consequenter humiditatis & siccitatis incrementa indicare debeat. Est igitur instrumentum hygroscopium (§.197). *Q. e. d.*

Aliter.

Tab. III. Fig. 23.

1. Funis cannabinus aut nervus fidium HI altero sui extremo suspendatur ex unco H.
2. Alteri extremitati I annectatur globus K unius circiter libræ.
3. Limbo pedamenti LM inscribantur duæ peripheriæ circuli parallelæ & spatium intermedium in partes quotcunque æquales dividatur.

4. Glo-

4. Globo infigatur stylus NO, cujus extremitas O limbi divisionem fere attingit.

Dico, hunc indicem incrementa humiditatis & siccitatis aëris ostensurum.

DEMONSTRATIO.

Eadem prorsus est, quæ proxime præcedens.

Aliter.

Tab. III. Fig. 24. 1. Parentur subscudes sulcatæ AB & CD ex ligno quercino.

2. Intra crenas oppositas aptentur asserculi abietini AEFC & GBDH, ita ut ultro citroque facillime moveri possint.

3. In extremitatibus subscudium A, B, C, D clavis firmentur asserculi & inter utrumque relinquatur spatium EGHF, cujus latitudo EG unius circiter digiti.

4. In I firmetur lamina orichalcea dentata IK & in L rotula dentata, cujus axi in altera machinæ facie index inferatur.

5. Tandem ex centro axis in eadem facie describatur circulus in partes quotcunque æquales dividendus.

DEMONSTRATIO.

Cum enim experientia teste lignum abietinum humorem aëris facillime imbibat ac inde turgescat, humore autem rursus exspirato tabescat: si aëris humiditas augetur, asserculi AF & BH humore turgescentes propius ad se invicem accedunt; si illa rursus minuitur, iidem asserculi tabescentes denuo a se invicem discedunt. Quoniam vero distantia asserculorum nec minui potest sine rotulæ L convolutione, nec augeri; index monstrabit incrementa humiditatis & siccitatis aëris. Est igitur machina constructa hygroscopium (§ 197.). *Q. e. d.*

Aliter.

Manoscopium superius descriptum in hygroscopium abit, si globo evacuato E substituas spongiam, aut materiam quandam aliam, quæ humorem facile imbibit. Solet autem spongia primum aqua communi, deinde, ubi bonam partem rursus exsiccata fuerit, aqua vel aceto, in quo aliquid salis Ammoniaci seu salis tartari dissolutum fuerit, macerari atque in loco umbroso denuo exiccari. Tab. II. Fig. 14.

DE-

Digitized by Google

DEMONSTRATIO.

Si enim aër humidus evadit, spongia gravior reddita præponderat; si ille levior redditur, hæc rursus altius tollitur experientia teste, adeoque index incrementa & decrementa humiditatis indicat. Est ergo hygroscopium (§. 197.). *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

221. *Omnia hygroscopia, quæ hactenus descripta sunt, sensim sensimque a perfectione sua deficiunt, tandemque ab humiditate aëris parum aut nihil mutationis patiuntur. Usus ultimi est magis diuturnus, quam cæterorum omnium.*

SCHOLION 2.

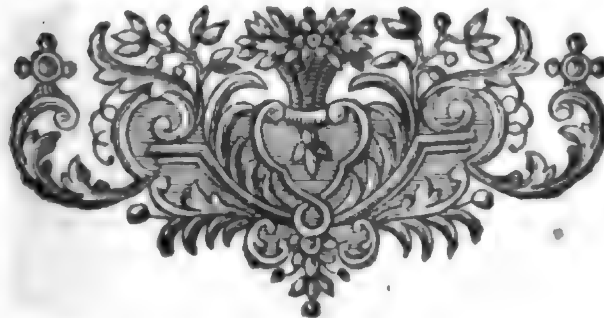
222. *In hygroscopio ultimo* Gouldius (t) *loco spongiæ omnium maxime commendat olium vitrioli, quod in dies in tantum augeri observavit, ut intra spatium 57 dierum a tribus drachmis ad drachmas novem & 30 grana ascenderet. Enimvero non annotat, non etiam humiditatem tam promte rursus dimittat, quam eam attrahit: de quo valde dubito, adeoque præsenti instituto oleum vitrioli minime congruum judico.*

SCHOLION 3.

223. *Cæterum quilibet me non monente videt, structuram hygroscopiorum multis modis variari posse.*

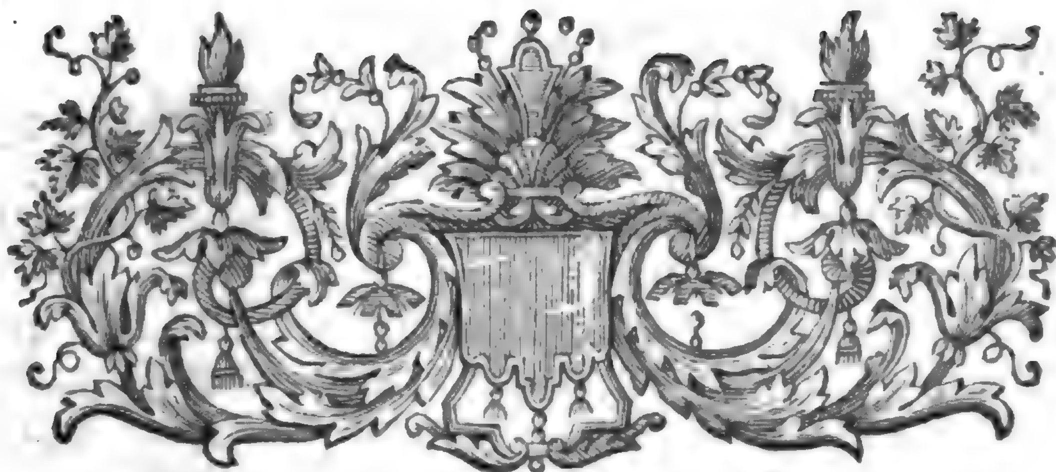
(t) in Actis Erudit. A. 1685. p. 315.

FINIS AEROMETRIÆ.

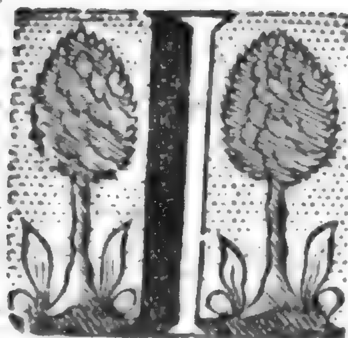


ELEMENTA
HYDRAULICÆ.

Digitized by Google



PRÆFATIO.



In Hydraulica non modo machinarum, quibus aqua elevatur, atque fontium ſalientium conſtructio edoceri debet; ſed explicandæ ſunt præterea leges motus corporum fluidorum. Quemadmodum vero argumentum prius ſtupenda diligentia jam olim excultum fuit, id quod vel ſoli libri ſpiritualium *Heronis* aperte loquuntur; ita diffiteri non poſſumus, in poſteriore excolendo poſteris adhuc multum relictum eſſe, utut præclara jam dederint viri de Hydraulica optime meriti *Majottus*, *Caſtellus*, *Torricellius*, *Borellus*, *Guilielminus*, *Mariottus* & inprimis celeberrimus *Varignonius* (a). Immo ipſa machinarum Hydraulicarum conſtructio Matheſeos puræ opem

(a) Memoires de l'Academie Royal. des Sciences A. 1703. p. 285.

opem adhuc flagitat. Dignum vero utrumque argumentum, quod indies magis magisque excolatur. Si enim machinas Hydraulicas fontesque salientes spectes, de Hydraulica non inepte dixeris, quod vulgo de Poëtis ingeminari solet, quod non minus prodesse, quam delectare velit. Egregia scilicet vitæ humanæ commoda præstat, dum varias vias ostendit, per quas aqua ad locum datum derivari potest. Mirifice delectat, dum jucunda fontium salientium aliorumque admirandorum spectacula oculis objicit. Leges motus aquarum tum ad scientiæ naturalis, tum ad machinarum perfectionem tendunt: & si quando perfectam habebimus, motus fluidorum in corpore animali distinctius cognoscetur, unde multa commoda in genus humanum redundabunt. Quamvis vero mihi potissimum propositum sit, machinarum Hydraulicarum constructionem exponere & ad causas suas revocare; non tamen leges motus fluidorum prorsus insuper habebo, sed eas propositurus sum, quæ ad ulteriorem disquisitionem viam sternunt & præ reliquis scitu necessariæ sunt. Has meditentur inprimis illi, quos rerum naturalium cognitio solidior juvat. Nemo autem ad Hydraulicam accedat, nisi notionem virium ex Mechanica, æquilibrium fluidorum ex Hydrostatica; proprietates aëris ex Aerometria perspexerit.

ELE-

ELEMENTA HYDRAULICÆ.

CAPUT I.

DE MOTU FLUIDORUM A GRAVITATE PENDENTE.

DEFINITIO 1.

1. *Hydraulica* est scientia motus fluidorum, præsertim aquarum.

SCHOLION.

2. *Quare cum in Hydrostatica explicetur æquilibrium fluidorum, ex sublato autem æquilibrio motus nascatur; Hydraulica Hydrostaticam supponit. Unde contigit, ut nonnulli, qui de Hydraulica scripsere, hydrostaticam cum ea conjunxerint.*

DEFINITIO 2.

Tab. I. Fig. 1. 3. Per *tubum* atque *Canalem* intelligo cylindrum quemcunque AB intus cavum.

DEFINITIO 3.

4. *Lumen* est apertura tubi.

DEFINITIO 4.

5. *Epistomium* vel *Clavicula* est instrumentum, quo lumen ad arbitrium obturari & aperiri potest.

SCHOLION.

6. *Quoniam in machinis Hydraulicis epistomii creberrimus est usus, non inconsultum ducimus, ut ejus structura hic exponatur.*

PROBLEMA 1.

7. *Epistomium vel claviculam construere.* Tab. I. Fig. 2.

RESOLUTIO.

1. Paretur ex orichalco cubus ABCD cum gemina tubi parte GH & EF, quarum altera GH cochlea instrui debet, ut ad arbitrium ad tubum vel vas firmari, iterumque ab eo removeri possit, aut si cochlea destituantur, tubo vel vasi afferruminetur.
2. Cubus cylindrice excavetur, ut cavitati ejus immitti possit cylindrus solidus HI perforatus in K & in L matrice, in O manubrio instructus, ut per cavitatem cylindri trajectus mediante cochlea M in hoc situ firmari, & ope

ope manubrii O huc illucque versari possit.

3. Perforetur similiter uterque tubulus GH & EF.

Quodsi enim cylindrum solidum HI ita convertas, ut cavitas ejus K foraminibus tubulorum GH & EF respondeat, aqua in F effluere potest: si vero idem cylindrus HI soliditatem foraminibus iisdem obvertat, nihil aquæ egredi poterit, adeoque instrumentum est epistomium vel clavicula (§. 5.).

SCHOLION.

8. *Perfectissimam epistomii constructionem hic exponere libuit. In praxi enim facile apparebit ex circumstantiis singularibus, si qua omitti possint. Ita e. gr. communiter omittitur cochlea* M *cum matrice, qua cylindrum* HI *intra cavitatem tubi* AC *firmandum esse diximus. Neque cochlea* F *semper adest & tubus* GF *sæpius horizontalis est.*

THEOREMA I.

Tab. I. Fig. 3 9. *Locus* A, *ad quem aqua ex loco alio* B *sive per alveum, sive per tubos aut canales derivanda, humilior seu centro Telluris propior esse debet hoc ipso altero.*

DEMONSTRATIO.

Cum enim aqua non fluat, nisi vi gravitatis, gravitas vero sit nisus versus centrum Telluris (§. 4. *Mechan.*); per alveum fluere nequit, nisi quamdiu ad centrum Telluris propius accedere potest. Necesse igitur est, ut locus, ad quem aqua per alveum fluere debet, centro Telluris propior sit altero, unde derivatur. *Quod erat unum.*

Quodsi aqua per canales BC & CA derivari debet ex B in A, ita ut primum descendat ex B in C, deinde rursus ascendat ex C in A: sit DE linea horizontalis per C ducta & BD atque AE ad eandem perpendicularis. Sit jam AE < BD, pressio aquæ in tubo BC major est pressione æquæ in tubo AC (§. 34. *Hydrost.*). Ista igitur prævalet, adeoque aquam AC impellit per A effluxuram. Enimvero si AE > BD; quamprimum aqua in tubo AC ascendit ad altitudinem ipsi BD æqualem, alteri in tubo BC æquilibratur (§. 34. *Hydrost.*), ab ea igitur ad ulteriorem ascensum sollicitari nequit (§. 75. *Mechan.*). Sed vi gravitatis deorsum nititur versus C (§. 4. *Mechan.*), adeoque nec vi intrinseca ascendere potest. Ibi igitur subsistit, consequenter aqua ex loco B in alium A per tubos aut canales recurvos derivari nequit, nisi A sit humilior B. *Quod erat alterum.*

CO-

COROLLARIUM 1.

10. Cum alveus vel tubus BC, per quem aqua fluit ex B in C, sit planum inclinatum (§ 258 *Mechan.*); ad aquas fluentes applicari possunt, quæ in Mechanica cap 6. de descensu gravium in plano inclinato demonstrata sunt.

COROLLARIUM 2.

11. Sunt igitur velocitates aquarum per diversos tubos fluentium eodem tempore acquisitæ ut tuborum longitudines reciproce (§. 302 *Mechan.*).

SCHOLION.

12. *Insuper hic & in sequentibus habemus resistentiam, quæ oritur ex affrictu in fundo alvei & parietibus tubi* (§ 933. Mechan.).

PROBLEMA 2.

13. *Aquam ex loco uno derivare in alterum.*

RESOLUTIO.

1. Libelletur aqua (§. 912. *Mech.*) hoc est, investigetur, quam propior centro Telluris sit locus, ad quem aqua derivanda est, altero, unde derivatur. (§. 904. *Mech.*).
2. Quodsi locus ille hoc humilior fuerit, non alia re opus est, quam ut aqua vel per canalem, vel per tubos declives ex loco excelsiore in humiliorem deducatur, prout vel magna, vel exigua ejus suppetit copia.

3. Ut aqua per intervalla nobis commoda visa effundatur, extremum tubi epistomio muniatur (§. 5.).
4. Et quia experientia teste fontes naturales non omni tempore eandem aquæ copiam effundunt; non modo tubus capacior fieri debet, sed & circa fontem alveus quidam muru includendus, ut aqua intra ipsum assurgens inferius in tubum ruentem fortius premat, sicque per ipsum celerius fluat.
5. Si tubus vel canalis per intervalla sufficientem aquæ copiam non præbeat, aut præbeat nimis tarde, aqua remoto epistomio continuo fluens intra puteum ex saxis exstructum colligatur necesse est: qui tanto amplior vel profundior fieri debet, quo terminus ad quem fuerit termino a quo humilior.
6. Si denique aqua ad terminum infimum C delapsa rursus ascendere debet, deducenda est per canales inclinatos BC & CA, ita ut altitudo AE fuerit minor altitudine BD (§. 9.). Tab. I. Fig. 3.

SCHOLION 1.

14. *Utimur autem in deducendis aquis tubis vel ligneis, vel plumbeis, vel argillaceis, aut canalibus lapideis. Luminis dia-*

diameter in tubo ligneo est 4, 5 *vel* 6 *digitorum pro quantitate aquæ effundendæ, conjunguntur autem annulo ferreo* CD. Tab. I. Fig. 4. *Tubo plumbeo locus est, si aqua in altum elevanda ad fontes salientes: neque vero sanitati conducere deprehensa est aqua, quæ per plumbeos fluit. Argillaceorum interior superficies lithargyrio obducenda; immo & exterior, nisi sumtibus parcas. Longitudo eorum est duorum aut unius & dimidii pedum, crassities duorum digitorum, diameter luminis duorum aut trium. Commissuris pyxidatis conjunguntur, quæ calce viva oleo permixta obducuntur, ne noceat humiditas.*

SCHOLION 2.

15. *In alveo, quem prope fontem construxisti, ita aptandus est tubus, ut aquam nec ex fundo, nec ex superficie hauriat, quia prope fundum turbida, gravioribus, quæ in aquam incidunt, eundem petentibus, superficiei vero insecta aliæque impuritates leviores innatant. Solent etiam ad arcendas sordes lumini canalis primo cribrum ferreum, sed stanno obductum apponere, immo ad percolandam aquam turbidam spongiam. Ut aqua conservetur limpida, alveum tecto aut fornice muniri præstat.*

SCHOLION 3.

16. *Ne aër interceptus cursum aquarum in canale intercipiat, sed exitus ei concedi queat, utque canalis ipse purgari possit, quoties opus fuerit; hinc inde est perforandus & obturaculo figuram coni truncati habente foramen obturandum.*

SCHOLION 4.

17 *Cæterum omni studio in deducendis aquis vitandus est aquarum ascensus, quia aqua ascendens majorem vim infert, quam descendens.*

PROBLEMA 3.

18. *Fontem naturalem arte construere.*

RESOLUTIO.

1. In loco elevato paretur fossa aggeribus undiquaque cincta & variis meatibus ex crustis lapideis excitatis hinc inde distincta, qui omnes in unum hient exiguo foramine instructum.
2. Fossa hæc desuper silicibus, calculis & ad duos tresve pedes glarea operiatur, & quicquid aquæ pluvialis aliunde derivari potest, cum cura eo derivetur.

Ita enim per glaream & calculos in meatus destillabit aqua & filtrata ab exhalationibus immixtis purgabitur, atque per orificium meatus ultimi ad radicem foveæ profluet.

SCHOLION.

19. *Si intra meatus foveæ tot aquæ non contineatur, ut perennis fluat, orificio meatus ultimi tubus cum epistomio aptandus.*

THEO-

THEOREMA 2.

Tab. I. Fig. 5. 20. *Si duo tubi æquales altitudines* AB *&* CD *atque æqualia lumina* E *&* F *habuerint, fuerintque ambo constanter pleni; æquali tempore æquales aquæ quantitates effundent.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam lumina E & F æqualia sunt & altitudines aquæ super iisdem etiam æquales, *per hypoth.* aquæ luminibus proxime imminentes eadem vi premuntur (§. 42. *Hydrost.*), adeoque æqualia volumina æqualem adhibent egrediendi conatum, consequenter si aqua actu egreditur, æquali tempore æquales quantitates fluunt. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

21. Quoniam fundus tubi perpendicularis eadem vi premitur, qua fundus inclinati, ubi utriusque altitudo eadem fuerit, ipsique fundi inter se æquentur (§. 47. *Hydrost.*); si tuborum utcunque inclinatorum, modo æquealtorum lumina fuerint æqualia, tubique constanter pleni, eodem tempore eadem aquæ quantitas effluet.

THEOREMA 3.

Tab. I. Fig. 6. 22. *Si duo tubi æquales altitudines* AB, *&* CD, *sed lumina inæqualia* E *&* F *habuerint, fuerintque constanter pleni, quantitates aquarum effluentium eodem tempore sunt ut lumina* E *&* F.

DEMONSTRATIO.

Concipiatur lumen majus divisum in plura minora alteri E æqualia: per singulas majoris partes æquali tempore quantitates aquæ effundentur illi æquales, quæ per lumen minus effunditur (§. 20.). Sunt adeo quantitates aquarum per utrumque lumen tempore æquali effusarum ut lumen minus ad numerum partium, in quas divisum concipitur majus, hoc est, ut lumen minus ad majus (§. 86. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

23. Si lumina fuerint circularia; quantitates aquæ eodem tempore ex tubis æque altis & constanter plenis effusæ sunt in ratione duplicata diametrorum luminis (§. 409. *Geom.*).

COROLLARIUM 2.

24. In tubis etiam inclinatis æque altis quantitates aquarum eodem tempore effluentium sunt in ratione duplicata diametrorum. Patet eodem modo, quo corollarium theorematis præcedentis (§. 21.).

SCHOLION.

25. *Legem hanc experimentis non exacte*

acte respondere autor est Mariottus (a). *Observavit enim, si diameter luminis* F *erat diametri luminis* E *dupla, ex tubo minore plusquam quartam aquæ ex majore effluentis partem eodem tempore effundi, tuborum altitudine modica existente. Enimvero in demonstratione abstrahimus ab omnibus obstaculis accidentalibus, quæ irregularitatem inducere solent, qualia plura hic concurrunt. Scilicet altitudo aquæ super lumine minor, quam ad latera vasis: aqua enim in ea voluminis parte quæ lumini respondet, cavitatem assumit, cum effluenti non extemplo alia a lateribus succedere valeat. Quoniam vero hoc decrementum altitudinis majus est in tubo majore, quam in minore, pressura quoque seu exeundi conatus minor erit in majore, quam in minore* (§. 44. Hydrost.). *Porro dum aqua superior effluentis locum occupare nititur, vim, qua premit, ad descendendum impendit, non ad premendum. Unde denuo conatus ad exeundem minuitur. Tandem hic quoque habenda est resistentiæ aëris & affrictus aquæ in superficie tubi & orificio inprimis ratio. Enimvero omnia illa impedimenta ad certas leges nondum revocata: immo hactenus nequidem constitutum est, quodnam eorum in casu quolibet dato prævaleat.* Dechales (b) *affrictus unice rationem habens, in aqua effundenda prærogativam majoribus luminibus tribuit, quia proportionaliter minorem superficiem habent, cum tamen ex modo dictis pateat,* Mariottum *prorsus contrarium expertum esse. Ipse vero* Mariottus (c) *non diffitetur, dari subinde causas, quæ multas irregularitates inducant, ita ut nunc majoribus, nunc minoribus luminibus in aqua effundenda tribuenda sit prærogativa, & assertum suum experimentis confirmat.*

THEOREMA 4.

26. *Si duorum tuborum constanter plenorum* AB *&* CD *lumina* E *&* F *æqualia fuerint; quantitates aquarum eodem tempore effluentium sunt ut celeritates.* Tab. I. Fig. 7.

DEMONSTRATIO.

Ponamus e. gr. aquam ex tubo AB effluere ea celeritate, quæ sit ad alteram ex tubo CD effusæ in ratione dupla. Quia hic tantum ratio habetur motus instantanei per foramen; motus aquæ ut æquabilis considerari potest, adeoque celeritates erunt ut spatia eodem tempore percursa (§. 33. *Mechan.*). Quodsi ergo filum aliquod aquæ in tubo AB extenderetur usque ad G; filum ex altero usque ad I: erunt longitudines EG & IF in ratione dupla seu celeritatum. Enimvero quantitates aquarum eodem tempore ef-

(a) Trait. du mouvement des Eaux part. 3. disc. 1. p. 267.
(b) in Tract. de fontibus naturalibus prop. 30. f. 132. Tom. 3. Mund. Mathem.
(c) loc. cit. disc. 2. p. 276.

Digitized by Google

effluentium sunt ut fila ista seu cylindri EG & FI: quorum bases E & F cum æquales sint, *per hypoth.* altitudinum EG & FI rationem habent (§. 573. *Geom*). Sunt adeo etiam quantitates aquarum effluentium ut celeritates (§. 167 *Arith.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 5.

Tab. I. Fig. 7. 27. *Si duo tubi habuerint lumina* E & F *æqualia, sed altitudines* AB & CD *inæquales, fuerintque constanter pleni, quantitas aquæ effluentis ex majore* AB *erit ad quantitatem aquæ effluentis ex minore* CD *eodem vel æquali tempore, in ratione subduplicata altitudinum* AB & CD.

DEMONSTRATIO.

Cum vires aquas per lumina E & F expellentes sint gravitates absolutæ aquarum luminibus imminentium; ob luminum æqualitatem *per hypoth.* altitudinum AB & CD rationem habent (§. 573. *Geom*). Sed quia gravia tantum prementia sunt vires mortuæ (§. 9. *Mechan*), si quantitates aquarum eodem tempore effluentium fuerint ut A & *a*, celeritates ut C & *c*; erunt vires ut A. C ad *a. c* (§ 278. *Mechan.*), consequenter A. C ad *a. c* = AB : CD (§. 167. *Arithm.*). Est vero etiam A : *a* = C : *c* (§. 26), adeoque (cum porro sit A : *a* = A : *a*) A. C : *a. c* = $A^2 : a^2$ (§. 185. *Arithm.*). Quare $A^2 : a^2$ = AB : CD (§. 167. *Arithm.*) & hinc A : *a* = √AB : √CD (§. 124. *Analys. finit.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

28. Altitudines aquarum AB & CD per æqualia lumina E & F effluentium sunt in ratione duplicata ipsarummet aquarum eodem tempore effusarum.

COROLLARIUM 2.

29. Et quia quantitates aquarum fluentium sunt ut velocitates (§. 26); velocitates quoque erunt in ratione subduplicata altitudinum.

PROBLEMA 4.

30. *Data ratione aquarum effluentium per utrumque tubum* AB & CD *una cum altitudine unius, invenire altitudinem alterius.* Tab. I. Fig. 7.

RESOLUTIO.

1. Quæratur ad numeros, qui rationem aquarum effluentium exprimunt & radicem altitudinis datæ numerus quartus proportionalis (§. 302. *Arithm.*).
2. Ducatur is in seipsum: erit factum altitudo CD quæsita (§. 28).

SCHOLION 1.

31. *Cum ex altitudine data rarissime radicem perfectam extrahere liceat, ut altitudo quæsita exacte inveniatur, per regulas Arithmeticæ irrationalium operandum. Sit e. gr. ratio data 3:5, altitudo data 7, reperietur radix altitudinis quæsitæ* $5\sqrt{7:3}$. *Unde habetur altitudo ipsa quæsita* $\frac{25}{9}7 = \frac{175}{9} = 19\frac{4}{9}$.

SCHOLION 2.

32. *Quodsi cui leges Algorithmi irrationalium non fuerint perspectæ, is faciat ut 3 ad 5 ita 7 altitudo data ad numerum quartum proportionalem* $\frac{35}{3}$ *& porro ut 3 ad 5 ita* $\frac{35}{3}$ *ad altitudinem quæsitam, quæ ut ante* $= \frac{5\cdot 35}{9} = \frac{175}{9} = 19\frac{4}{9}$. *Si enim universaliter* $3:5 = a:b$, $7 = c$; *reperietur per resolutionem problematis altitudo quæsita* $= b^2c:a^2$. *Sed quarta proportionalis ad* a, b *&* c *est* bc:a *& tertia proportionalis ad* c *&* bc:a *est ut ante* $b^2c:a^2$. *Unde patet inferri posse*, ut quadrata numerorum datam rationem aquarum effluentium exprimentium, ita altitudo data ad quæsitam: *id quod etiam ex demonstratione theorematis quinti (§ 27.) liquet. Atque hac analogia commodissime utuntur, qui a tricis algorithmi irrationalium sibi metuunt.*

PROBLEMA 5.

33. *Data ratione altitudinum tuborum constanter plenorum & per æqualia lumina aquas effundentium, una cum quantitate aquæ ex uno effusa, invenire, quantitatem aquæ eodem tempore ex altero effluentem.*

RESOLUTIO.

1. Quæratur ad altitudines datas & quadratum quantitatis aquæ per lumen unum effusæ numerus quartus proportionalis (§. 302. *Arithm.*), qui erit quadratum quantitatis aquæ per lumen alterum effluentis (§. 28).
2. Inde itaque si radicem quadratam extrahas (§. 269. *Arithm.*), prodibit ipsa quantitas aquæ quæsita.

E. gr. Sint altitudines tuborum ut 9 ad 25, quantitas aquæ ex uno tubo effusa trium pollicum; erit quantitas aquæ ex altero effluens $= \sqrt{(9.25:9)} = \sqrt{25} = 5$.

THEOREMA 6.

34. *Si duorum tuborum constanter plenorum altitudines* AB *&* CD *fuerint inæquales, lumina* E *&* F *itidem inæqualia; erunt quantitates aquarum eodem tempore effluentium in ratione composita ex simplici luminum & subduplicata altitudinum.* Tab. I. Fig. 7.

DEMONSTRATIO.

Si altitudo communis duorum tuborum lumina inæqualia L & *l* habentium $= a$, quantitates aquarum eodem tempore effluentium sint P & *q*. Porro altitudo tubi tertii = A, lumen = L, quanti-

tas

tas aquæ dato tempore effluentis Q: erit

$P : q = L : l$ (§. 22.).

$Q : P = \sqrt{A} : \sqrt{a}$ (§. 27.).

Ergo $PQ : Pq = L\sqrt{A} : l\sqrt{a}$ (§. 213. *Arithm.*).

Unde $Q : q = L\sqrt{A} : l\sqrt{a}$ (§ 180. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

35. Si $Q = q$; erit $L\sqrt{A} = l\sqrt{a}$, consequenter $L : l = \sqrt{a} : \sqrt{A}$ (§. 299. *Arithm.*). & $L^2 : l^2 = a : A$ (§. 260. *Arithm.*), hoc est, si quantitates aquarum ex duobus tubis constanter plenis & altitudines atque lumina inæqualia habentibus eodem tempore effluentes fuerint æquales; lumina sunt reciproce ut radices altitudinum, altitudines vero in ratione reciproca quadratorum luminum.

THEOREMA 7.

Tab. I. Fig. 7. 36. *Si altitudines duorum tuborum constanter plenorum* AB *&* CD *æquales fuerint, aquæ per lumina* E *&* F *utcunque inæqualia eadem celeritate effluunt.*

DEMONSTRATIO.

Illud per se patet, si præter altitudines etiam lumina fuerint æqualia, aquam ex utroque tubo eadem celeritate egredi, cum nulla adsit disparitatis ratio. Concipiamus itaque lumen majus divisum in partes quotcunque, quæ singulæ minori lumini æquales sint. Quoniam aqua, quæ per partem luminis movetur, non aliter movetur, ac si per reliquas nihil flueret, cum impetus totus pendeat a pressione perpendiculariter imminentis (§. 215. *Mechan*); evidens est eandem in singulis partibus lumini minori æqualibus eadem celeritate moveri, qua fertur per lumen minus. Aqua igitur per totum lumen majus eadem celeritate fluit, qua per minus. *Q. e. d.*

THEOREMA 8.

37. *Si altitudines tuborum constanter plenorum* AB *&* CD, *itemque lumina* E *&* F *inæqualia fuerint; celeritates aquarum effluentium sunt in ratione subduplicata altitudinum.* Tab. I. Fig. 7.

DEMONSTRATIO.

Sint altitudines trium tuborum α, a & A, lumina eorundem L, l & L, velocitates aquarum effluentium u, v & c. Quia $L = L$; erit $u : c = \sqrt{\alpha} : \sqrt{A}$ (§. 29). Est vero $\alpha = a$, *per hypoth.* adeoque $\sqrt{\alpha} = \sqrt{a}$. Ergo $u : c = \sqrt{a} : \sqrt{A}$ (§. 168. *Arithm.*). Porro ob $\alpha = a$, *per hypoth.* etiam $u = v$ (§. 36.). Ergo $v : c = \sqrt{a} : \sqrt{A}$ (§. 168. *Arithm.*). *Q. e. d.*

CO-

Digitized by Google

COROLLARIUM. 1.

38. Cum altitudinibus inæqualibus existentibus aquarum per æqualia lumina fluentium celeritates similiter sint in ratione altitudinum subduplicata (§ 29.), hæc vero ratio æqualis fit, si altitudines æquales; patet in genere celeritates aquarum ex tubis constanter plenis effluentium esse in ratione altitudinum subduplicata.

COROLLARIUM 2.

39. Quadrata igitur velocitatum sunt ut altitudines (§ 260. *Arithm.*).

SCHOLION.

40. Mariottus (d) *multiplici experimento docuit, si ad vas* ABCD *applicetur tubus* EF, *plus aquæ per tubum æquali tempore effluere, quam per idem lumen vasis* E, *tubo remoto, & motum aquæ eo magis accelerari, quo tubus* EF *longior. Cum altitudo vasis* AC *esset unius pedis, tubi vitrei* EF *longitudo trium pedum, diameter luminis trium linearum; intervallo unius minuti effundebantur* $6\frac{1}{6}$ *sextarii aquæ, tubo autem remoto nonnisi* 4 *circiter. Cum longitudo tubi* EF *esset* 6 *pedum, diameter luminis* F *unius digiti, aqua omnis intra* 37 *minuta secunda effluxit. Cum vero tubi dimidium* FH *rescinderetur, vas integrum intra* 45''; *tubo prorsus remoto intra* 95'' *evacuatum est. Tubo nimirum applicato altitudo aquæ incumbentis & egressum orificio tubi proxime urgentis major est, adeoque motus aquæ magis acceleratur.*

THEOREMA 9.

41. *Si duo tubi* AB *&* CD *fuerint ejusdem altitudinis & lumina* E *atque* F *æqualia habuerint; tempora, quibus deplentur, sunt in ratione basium.* Tab. I. Fig. 5.

DEMONSTRATIO.

Sit basis tubi CD dupla basis tubi AB. Quoniam altitudines æquales sunt *per hypoth.* quantitates aquarum in tubis contentæ basium rationem habent (§. 573. *Geom.*), adeoque ex hypothesi aqua in tubo CD dupla est aquæ in tubo AB. Concipiatur altitudo utriusque tubi in partes infinite parvas divisa, erit cylindrulus ejusmodi altitudinis in tubo majore CD duplus cylindruli in tubo minore AB. Uterque autem in utroque tubo eadem celeritate per lumen ejicitur (§. 36.) & quia lumina æqualia sunt *per hypoth.* eædem quantitates aquæ eodem instanti fluunt per utrumque lumen. Ergo eodem tempore, quo cylindrulus HI effluit, nonnisi dimidium alterius LK ejicitur: ut adeo alterum dimidium expellatur opus est instanti altero. Tempuscula itaque, quibus cylindruli HI & LK effluunt, sunt in ratione subdupla, nempe ut

(d) Traité du mouvement des eaux part. 3. disc. 6. p. 269. & seqq.

Digitized by Google

ut bases tuborum AB & CD. Idem cum de ceteris eodem modo demonstretur, patet tempora, quibus integri tubi evacuantur, esse in ratione basium (§ 187. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 10.

Tab. I. Fig. 1. 42. *Vasa cylindrica & prismatica* ABCD *ita deplentur, ut quantitates aquarum temporibus æqualibus effluentium decrescant secundum numeros impares ordine retrogrado sumtos.*

DEMONSTRATIO.

Velocitas nempe libellæ FG descendentis continuo decrescit in ratione subduplicata altitudinum decrescentium (§. 38.). Velocitas gravis descendentis crescit in ratione subduplicata altitudinum crescentium (§. 87. *Mechan.*). Talis igitur est motus libellæ FG ex G in B descendentis, ac si inversa ratione ex B in G descenderet. Sed si ex B in G descenderet, æqualibus temporibus spatia crescerent secundum numerorum imparium progressionem (§. 86. *Mech.*). Ergo secundum eandem progressionem inverse sumtam altitudines libellæ FG æqualibus temporibus decrescunt. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

43. Libella igitur aquæ FG eadem lege descendit, qua vi impressa per altitudinem ipsi GB æqualem ascenderet (§. 329. *Mechan.*).

SCHOLION.

44. *Ex hoc principio multa alia de motu fluidorum demonstrari possunt, quæ nunc brevitatis gratia omittimus.*

PROBLEMA 6.

45. *Vas quodcunque cylindricum dividere in partes singulis temporibus vacuandas, dato tempore, quo depletur totum, itemque tempore, quo depletur pars una.*

RESOLUTIO.

Sit e. gr. Vas cylindricum, cujus omnis aqua intra 12 horas effluit, dividendum in partes singulis horis evacuandas.

1. Fiat ut pars temporis 1 ad tempus integrum 12 ita idem tempus 12 ad numerum quartum proportionalem 144.
2. Dividatur altitudo vasis in partes 144 æquales. Dico ultimam cedere horæ ultimæ, tres proxime superiores horæ penultimæ, quinque ulteriores horæ decimæ &c. 23 denique postremas horæ primæ.

DEMONSTRATIO.

Cum enim tempora crescant in serie numerorum naturalium 1. 2. 3. 4. 5. &c. altitudines vero, si numeratio ordine retrogrado fiat ab hora duodecima, crescant in serie numerorum imparium 1. 3. 5. 7. 9. &c. (§ 42.); erunt altitudines ab hora undecima computatæ ut quadrata temporum 1. 4. 9. 16. 25. &c. (§ 83. *Analyſ. finit.*). Quadratum ergo temporis integri 144 complectitur omnes altitudinis vaſis evacuandi partes. Sed numerus tertius proportionalis ad 1 & 12 eſt quadratum ipſius 12 (§. 246. *Arithm.*), conſequenter numerus partium æqualium, in quas altitudo dividenda, ſecundum ſeriem numerorum imparium per horarum intervalla æqualia diſtribuendus (§. 42.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

46. Cum partibus ejusdem vaſis ſubſtituere liceat vaſa minora ipſis æqualia; data altitudine vaſis intra datum temporis ſpatium deplendi, inveniri poteſt altitudo vaſis alterius intra tempus datum aliud evacuandi, faciendo nempe altitudines ut temporum quadrata.

SCHOLION.

47. *Patet ergo methodus clepſydras conſtruendi, quibus veteres uſos eſſe conſtat.*

THEOREMA 11.

48. *Aqua per foramen vaſis ea celeritate erumpit, quam acquireret cadendo ex altitudine aquæ ſupra orificium.*

DEMONSTRATIO.

Si aqua per foramen vaſis vi ſolius gravitatis abſolutæ exiret, foret celeritas ejus ad eam, qua egreditur ab aqua ſupra orificium conſiſtente preſſa, in ratione ſubduplicata altitudinis iſtius aquæ tempuſculo infinite parvo per foramen exeuntis, ſeu, quod perinde eſt, altitudinis foraminis, & altitudinis aquæ ſupra orificium (§. 37.). Enimvero ſi aqua eadem gravitate naturali caderet per altitudinem altitudini aquæ ſupra orificium æqualem, celeritas cadendo acquiſita foret itidem ad eam, qua vi gravitatis ejusdem per foramen exiret, in ratione ſubduplicata altitudinis aquæ ſupra orificium ad altitudinem foraminis (§. 87. *Mechan.*). Aqua igitur per foramen vaſis ea celeritate erumpit, quam cadendo ex altitudine aquæ ſupra orificium acquireret (§. 177. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 12.

Tab. I. Fig. 9.

49. *Si aqua per tubum* KE *deſcendens per lumen* G, *cujus directio verticalis,*

ticalis, prosiliat, ad eam altitudinem GI *ascendit, ad quam libella aquæ* LM *in vase* ABCD *consistit.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam aqua per lumen G, vi gravitatis columnæ EN impellitur; ea ipsius celeritas est, quam cadendo per altitudinem EN acquirit (§. 48.) consequenter ea ipsi vis est, qua ad altitudinem ipsi EN æqualem ascendere valet (§. 322. *Mechan.*). Quare cum directio luminis sit verticalis *per hypoth.* adeoque aquæ per lumen G prorumpentis directio itidem verticalis existat, nec quicquam sit, quod eandem mutet extra tubum; aqua sursum feratur necesse est ad eam altitudinem GI ad quam libella aquæ LM in vase consistit. *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

50. *Experientia constat, aquam per lumen* G *prosilientem elevari ad altitudinem ipsa* GI *minorem. Constat præterea, lumen* G *eo minus esse debere, quo minor est altitudo libellæ* LM *in vase* ABCD. *Immo propriis experimentis didici, minus esse debere lumen, si mercurius salire debet, quam ut aqua saliat, consequenter si fluidum majore vi urgetur, quam si minore: Inde vero non concluditur theorematis falsitas; sed tantum colligitur, subesse impedimenta quædam, quæ ascensui resistant. In ea igitur inquirendum.*

SCHOLION 2.

51. *Plerique præcipuam resistentiæ causam aërem allegare solent, per quem aqua saliens ascendit. Enimvero quamvis non negem, aëris resistentiæ inter impedimenta locum aliquem esse concedendum, quæ obstant, quo minus ad eam præcise altitudinem ascendat, unde decidit; causis tamen aliis majorem resistentiæ totalis partem tribuendam esse, mihi quidem satis probabile videtur. Aquas enim in vase ab aëre evacuato* (§. 40 Aerom.) *salientes non ulteriorem terminum attingere quam in libero aëre, ubi altitudo ascensus unius circiter pedis sit, vel etiam minor, iterato experimento didici: utut in hoc aqua saliens* FI *longe infra libellam ascensum sisteret. Illud autem observare licuit, aquam in vacuo minime in tot guttulas ramulosque dividi, in quot in aëre dispergitur; sed fere unitam versus eam plagam defluere, versus quam lumen* G *parumper inclinatur. Unde apparet, figuram aquæ verticaliter salientis magis ab aëre resistente immutari, quam celeritatem minui. In majoribus tamen saltibus, circa quos experimenta in vacuo capere non licet, aëris resistentiam sensibiliorem esse puto. Ipsa enim aquæ in guttulas ramulosque divisio fieri nequit, nisi aliqua celeritatis parte imminuta, quemadmodum ex regulis motus abunde constat.*

SCHOLION 3.

52. *Ceterum hinc mirum non est, quod regula* Mariotti *defectum altitudinis* GI *a perpendiculo aquæ computandi, quam resistentiæ aëris potissimum superstruxit*

xit (e), *& qua defectus isti in ratione duplicata altitudinum esse perhibentur, non satis exacte experientiæ respondeat. Quoniam tamen ejus aliquis esse potest usus; ideo non piget tabulam hic apponere, in qua altitudinibus aquarum salientium altitudines tuborum, per quos delabuntur, juxta illam assignantur, in pedibus quidem Parisinis & ejus digitis seu partibus duodecimis.*

Altitudo aquarum salientium.	Altitudo tuborum.		Altitudo aquarum salientium.	Altitudo tuborum.	
5′	5′	1″	55	55′	121″
10	10	4	60	60	144
15	15	9	65	65	169
20	20	16	70	70	196
25	25	25	75	75	225
30	30	36	80	80	256
35	35	49	85	85	289
40	40	64	90	90	324
45	45	81	95	95	361
50	50	100	100	100	400

SCHOLION 4.

53. *Ego quidem multum tribuo gravitati aquæ ascendentis, quia observavi quod argentum vivum ad minorem altitudinem elevatur, quam aqua. Nimirum guttarum anteriorum motus si languescit, posteriores in eas incurrentes retardantur: id quod ipsismet oculis suis videre poterit, qui aquas salientes attentius contemplare voluerit. Atque inde est, quod, si lumen* G *angulo quantolibet exiguo inclinetur, ut aqua saliens a perpendiculo non admodum declinare videatur, saltus altitudo statim major evadat. Huc pertinet, quod* Torricellius (f) *a se observatum annotavit. „Quando inquit, opposita manu foramen „*G *penitus occluditur, deinde retracta „quam citissime manu repente aperitur: „videbantur primæ & præeuntes guttæ al- „tius pervenire quam sit deinceps culmen „*I*, postquam aqua deorsum fluere cœperit. Addo quod dispersionem in guttulas ipsa gravitas aquæ juvet.* Tab. I. Fig. 9.

SCHOLION 5.

54. *Maximum autem impedimentum in affrictu positum est: unde lumen seu orificium* G *optime levigatum requiritur.*

SCHOLION 6.

55. *Quamvis autem lumen non nimis ingens esse debeat, ut sufficiens aquæ copia constanter affluere possit, cum alias saltus non*

(e) Traité du mouvement des eaux part. 4. disc. 1. p. 304. & seqq.
(f) De motu projectorum lib. 2. Oper. Geometr. p. 192.

Digitized by Google

non modo minuatur, sed prorsus impediatur; idem tamen nec nimis exiguum sit necesse est. Experimur enim, aquæ salientis altitudinem majorem esse, si lumen majus, quam ubi minus fuerit. Certe Mariottus (g) *observavit aquam salientem per lumina in eadem linea horizontali sita & in eodem tubo facta, quorum diametri erant unius, 4, 6, 10, 12 &c. linearum, notavitque altius ascendere eam, quæ per majora egreditur, quam quæ per minora ejicitur.*

THEOREMA 13.

Tab. I. Fig. 10. 56. *Aqua per tubum inclinatum* AB *vel per tubum quomodocunque inflexum* CD *descendens per lumen* G *ad eam altitudinem in* L *vel* M *ascendit, ad quam aqua in vase* HK *subsistit.*

DEMONSTRATIO.

Aqua ad lumen G in tubo inclinato AB, vel inflexo CD eadem vi impellitur, qua impellitur ad lumen G in tubo verticali NO (§. 34. *Hydrost.*). Sed vi impressa per lumen istud ascendit ad altitudinem altitudini libellæ ML æqualem (§. 49.). Ergo etiam per lumen tuborum reliquorum saliens ad eandem altitudinem ascendere debet. *Q. e. d.*

SCHOLION.

57. *Veritatem theorematis experimento confirmaturus fieri curavi ex lamina ferrea stanno obducta vas* HK *figuram parallelepidi habens. Ad fundum afferrumінari jussi quatuor tubos, quorum duo* NO *&* ST *sunt ad fundum perpendiculares, sed inæqualium diametrorum, tertius* AB *est inclinatus, quartus vero* CD *ex pluribus partibus diversimode inclinatis compositus; omnes una ad fundum pelvis* RZ *aquam salientem excipientis afferruminati. Denique in* M *&* L *ad vas aptati sunt tubuli inclinati, ut, si per canalem* ab *plus aquæ affluat, quam per lumina tuborum* G *salit, superflua per eos effluat: quo artificio quoque utendum, si experiri volueris, quæ in antecedentibus de motu aquarum in tubis constanter plenis demonstrata sunt. Quamdiu igitur aqua eandem libellam* ML *tuebatur, altitudo salientium per omnes tubos erat eadem, neque augebatur, unius, duorum vel trium luminibus obturatis. Quodsi vero libella* ML *vel descenderet, vel obturatis tubulis in* M *&* L *ascenderet; salientium quoque altitudines omnes æqualiter decrescebant, vel augebantur.* Tab. I. Fig. 10.

THEOREMA 14.

58. *Aquarum per lumen horizontale vel ad horizontem inclinatum* D *salientium longitudines* DE *&* DF, *vel* IH *&* IG, *sunt in ratione subduplicata altitudinum in vase vel tubo* AB *&* AC. Tab. I. Fig. 11.

(g) Trait. du mouvement des eaux part. 4. disc. 1. p. 303.

Digitized by Google

DEMONSTRATIO.

Quoniam aqua per lumen D ejecta vi impressa per lineam horizontalem DF progredi nititur (§. 71.* *Mechan.*), vi gravitatis autem deorsum tendit per rectas ad eam perpendiculares (§. 215. *Mechan*), nec vis una alteram impedire potest, quia directiones non sunt contrariæ; aqua a premente AB impulsa eodem tempore pervenit ad rectam IG ipsi DF paralelam, quo aqua a premente AC impulsa eandem attingit, suntque rectæ IH & IG spatia, quæ interea vi impetus impressi descripsissent eædem aquæ. Sunt vero spatia IH & IG, quia motus per DF est uniformis (§. 490. *Mechan.*), ut celeritates (§. 33. *Mechan.*); celeritates in ratione subduplicata altitudinum AB & AC (§. 38.): ergo longitudines quoque aquarum per lumina horizontalia vel inclinata salientium sunt in ratione subduplicata altitudinum (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

59. Cum in medio non resistente omne corpus vel horizontaliter, vel oblique projectum parabolam describat (§. 486. 482. *Mechan.*); aqua etiam per lumen horizontale, vel ad horizontem inclinatum saliens parabolam describit.

COROLLARIUM 2.

60. Aqua igitur per plures tubos inclinatos, in eadem recta collocatos, saliens arcuatum opus efficit, sub quo citra periculum madescendi deambulare licet, impetu, quo abripiuntur guttæ, descensum impediente.

SCHOLION 1.

61 *Jucundum admodum spectaculum præbent ejusmodi arcus aquei, dum radiis solaribus illustrati iridis coloribus superbiunt.*

SCHOLION 2.

62. *Equidem tum aëris resistentia, tum aquæ facilis divisio impediunt, quo minus arcus sint exacte parabolici; sed qui spectaculo ad oblectandum in hortis deambulantes utuntur, parum curant, quamnam figuram opus arcuatum referat.*

CAPUT

Digitized by Google

CAPUT II.

DE

MOTU FLUIDORUM VI AERIS CONTIGUI PRODUCENDO.

PROBLEMA 7.

63. *Construere vas ad hortos irrigandos idoneum.*

RESOLUTIO.

Tab. I. Fig. 12. 1. Fiat vas cylindricum ABCD, exiguo orificio E instructum, ut digito apposito claudi possit.

2. Fundus vasis CD constet ex lamina exiguis foraminulis pertusa.

Vel.

Tab. I. Fig 13. Fiat vas sphæricum HB collo tenui HE instructum, & hemisphærium DCB sit ut ante foraminulis pertusum.

Dico, si utrumque vas in aquam demergas, eam per foraminula fundi intrare: si digito ad orificium E applicato vas extrahas, nihil aquæ effluere: si tandem digitum iterum removeas, aquam per foraminula instar roris stillare, adeoque ad hortos irrigandos adhiberi posse.

DEMONSTRATIO.

Si vas in aquam demergas, ut orificium E ultra libellam ejus extet, eo usque per foraminula fundi implebitur, donec aqua in vase cum ambiente in eadem libella existat (§. 34. *Hydrost.*). Ast si digito ad lumen E applicato idem extrahas, cum altitudo ejus unius alteriusve pedis longitudinem non excedat, & foraminula fundi adeo exigua sint, ut juxta aquam effluentem aëri in vas aditus denegetur; aër ambiens impediet, quo minus quidpiam aquæ effluere possit (§. 95. *Aerom.*). Si digitum removeas, aëris integra columna ab orificio E usque ad extremitatem atmosphæræ extensa in aquam in vase contentam & una cum aqua in aërem ad fundum CD gravitat. Quare cum pressio aëris per orificium in aquam æqualis sit resistentiæ aëris ad fundum (§. 34. *Hydrost.*); aquæ pondus hanc superabit, adeoque ea per fundum vasis rorabit. *Q. e. d.*

PRO-

Digitized by Google

PROBLEMA 8.

64. *Siphonem construere, hoc est, instrumentum, cujus ope liquor ex vase hauriri potest.*

RESOLUTIO.

Tab. I. Fig. 14. Construatur vas FE, cujus pars media ABCD figuram cylindri, extremæ autem AFB & CED figuram conorum truncatorum habeant: sintque orificia F & E utrinque aperta, nec majora, quam quæ digito apposito commode claudi possunt.

Dico, si vas in liquorem demergas, fore ut eodem repleatur, etsi superius orificium F exstet: si digito ad F applicato extrahatur, fore ut per lumen E nihil effluat: si denique digitum removeas, fore ut totus effluat.

DEMONSTRATIO.

Eadem est, quæ problematis præcedentis.

Aliter.

Tab. I. Fig. 15. Cum globo AB connectantur duo tubuli graciles CD & EF arbitrariæ longitudinis, quorum lumina D & F sint aperta.

Dico, si tubuli EF extremum liquori immergas & aërem ex vase per tubulum CD exsugas, liquorem in globum AB ascensurum. Quodsi jam digito ad lumen D applicato siphonem extrahas, fore ut nihil effluat: ast si digitum removeas, fore ut totus liquor per tubulum EF rursus exeat.

DEMONSTRATIO.

Dum enim aërem exsugis, perinde est, ac si vasis ab aëre evacuati orificium F in liquorem demergas, adeopue liquor in globi AB cavitatem ascendere debet (§. 101. *Aerom.*). Quodsi digito ad orificium D applicato siphonem extrahas, liquor ex eo per lumen F effluere nequit (§. 95. *Aerom.*). Quamprimum vero digitum ab orificio D removes, cum in F tantum resistat pondus atmosphæricum, liquor autem præter vim gravitatis ab eodem pondere atmosphærico per tubulum DC impellatur; resistentia a vi majore utique vincetur, adeoque liquor per F effluet. *Q. e. d.*

SCHOLION.

65 *Siphone secundo commode utimur ad fluida specifice leviora a gravioribus, quibus innatant, separanda: unde Chymicis subinde non contemnendum præbet usum.*

PROBLEMA 9.

66. *Siphonem construere, cujus ope*

ope totus liquor ex vase quolibet in aliud quodcunque educi potest.

RESOLUTIO.

Tab. I. Fig. 16. Fiat tubus recurvus ABC, ita ut orificio A in plano horizontali posito altitudo minoris DB 31. pedes nunquam excedat. Ad communes usus altitudo dimidii, aut unius vel alterius pedis sufficit. Quodsi brachium minus AB liquori immergatur & per lumen C aër exsugatur, liquor ex vase tam diu per tubum BC effluet, quamdiu lumen A sub liquore constituitur.

DEMONSTRATIO.

Quando aërem ex siphone ABC exugimus, in eo residuus dilatatur (§. 37. *Aerom.*), adeoque elater ejus debilior evadit (§ 79. *Aerom.*). Quare cum antea ponderi atmosphærico æquaretur (§. 33. *Aerom.*); nunc eodem minor est. Aqua igitur in tubum AB impellitur, donec elater aëris inclusi cum fluidi ascendentis gravitate pondus atmosphæræ iterum adæquet (§. 93. *Aerom.*). Quodsi ergo non tanta fuerit altitudo BD, ut aqua intra tubum AB contenta vi gravitatis respectivæ, qua in atmosphæram aquæ superficiei extra tubum incumbentem gravitat (§. 28. *Aerom.* & §. 34. *Hydrost.*), defectum elateris suppleat; in tubum BC descendet. Si jam orificium C infra libellam aquæ, cui alterum A immersum est, subsistit; gravitas aquæ respectiva in crure BC est ad gravitatem respectivam aquæ in crure AB ut altitudo BE ad altitudinem BD (§. 34. *Hydrost.*). Quoniam itaque nisus aëris in superficiem aquæ circa orificium A gravitantis & aquam ad ascensum urgentis continuatur per aquam in tubo BC contentam, utpote quæ ad descensum isto aëris nisu urgetur; aër ad orificium C resistens urgetur vi ponderis atmosphærici & gravitate respectiva aquæ, quæ est ut altitudo BC. Et eodem modo patet aëris nisui prope orificium A resisti vi ponderis atmosphærici (quod ob exiguam siphonis altitudinem BE pro eodem habere licet) & gravitate respectiva aquæ in tubo BA, quæ est ut altitudo BD. Cum igitur aëri ad orificium A minus resistatur, quam ad orificium C; nisus illius ibidem prævalet, atque adeo aqua continuo per AB ascendit & per alterum BC descendit, quamdiu orificium A sub fluido demersum & alterum C sub libella constituitur. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

67. Quoniam vi ponderis atmosphærici

rici aqua nonnisi ad altitudinem 32 pedum Rhenanorum elevari potest (§. 27. *Aerom.*); altitudo cruris AB, nempe BD, minor esse debet 32 pedibus Rhenanis, ut aqua par siphonem fluat.

SCHOLION 1.

68. *Evidens adeo est, recte rejici artificium* Heronis *ope siphonis per montium vertices in oppositam planitiem aquas deducendi. Jubet enim* Heron, *ut extremitatibus siphonis applicentur epistomia & ad nexum crurum infundibulum, per quod aqua infundi possit, utrique siphonis cruri implendo sufficiens. Quoniam itaque aëris auxilio non modo est opus ad primum aquæ in crus minus ascensum, verum etiam ad continuationem motus; fieri non potest, ut aqua altius attollatur, quam a pondere atmosphærico elevari solet. Suffragatur experientia: notum enim nobis est artificium* Heronis *irrito successu fuisse tentatum, ubi altitudo major fuerat 32 pedibus Rhenanis.*

SCHOLION 2.

Tab. II. Fig. 17. 18. 19. 69. *Illud quoque notatu dignum est, figuram siphonis ad arbitrium variari posse, modo orificium* C *sit infra libellam fluidi exhauriendi. Quanto autem longiori intervallo ab ea removetur, tanto celeriore motu fluidum fertur. Et si ex fluido extrahitur orificium* A, *fluidum omne per lumen inferius* C *egreditur &, quod in minore crure* AB *continetur, secum veluti trahit. Quodsi sipho plenus ita constituatur, ut lumen utrumque* A & C *sit in eadem linea horizontali, fluidum in utroque crure pendulum hærebit. Videntur adeo fluida in siphonibus unum veluti continuum formare, ita ut pars præponderans descendens instar catenæ secum trahat leviorem.*

SCHOLION 3.

70. *Si vas quodpiam æquabiliter exhaurire volueris, tabulæ ligneæ* AB *infige alterum siphonis orificium* C, *quæ aquæ innatans & cum imminuta descendens id constanter ad eandem profunditatem demerget.* Tab. II. Fig. 20.

SCHOLION 4.

71. *Denique notandum, fluere aquam per siphonem etiam interruptum, si nempe crura* AD & EC *conjungantur mediante tubo capaciore* DE, *aëre pleno.* Tab. II. Fig. 18.

PROBLEMA 10.

72. *Diabetem construere, hoc est, vas, quod plenum liquorem omnem effundit, non plenum vero retinet.*

RESOLUTIO.

Fundo vasis AFGB afferruminetur sipho inversus CDE ea lege, ut crus longius DE ultra basin vasis exporrigatur, aut minimum ejus orificium sit in basi vasis: crus vero minus CD eandem non prorsus attingat: altitudo denique siphonis minor sit altitudine vasis AG. Tab. II. Fig. 21.

Aliter. Tab. II. Fig. 22.

Fundo vasis AFBG afferruminetur

netur tubus DE, qui cruris majoris vicem sustinet: loco autem cruris minoris imponatur tubus alius capacior DC in C apertus.

Dico, si vas AFBG aqua vel alio liquore impleas, quamdiu non fuerit plenum, nihil inde effundi; quamprimum vero plenum extiterit, liquorem omnem effluere.

DEMONSTRATIO.

Tab. Dum enim aqua infunditur, in
II. tubo DC seu crure minore sipho-
Fig. nis ad eandem altitudinem ascen-
21. dit, ad quam in vase consistit (§.
22. 34. *Hydrost.*). Quamdiu igitur vas non fuerit plenum, aqua intra orificium D tubi DE seu cruris longioris subsistit, consequenter per hoc nihil ejus effluere potest. Quamprimum vero plenum extiterit, ultra orificium D substistit, adeoque vi gravitatis propriæ per tubum DE descendit, dumque semel fluit per siphonem CDE, tam diu fluere debet, quamdiu lumen cruris minoris C fuerit aquæ immersum (§. 66). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

73. Quodsi vas non plenum, ad orificium E ore applicato aërem ex siphone CDE exsugas; liquor itidem omnis ex vase effluet (§. 66).

COROLLARIUM 2.

74. Hinc construi potest poculum KL, Tab.
quo bibenti illuditur. Si nempe tu bi- II.
bis, postquam sufficienter vinum hausisti, Fig.
per tubum HI ulterius fluxurum flatu oris 23.
repelle & paulisper expecta, donec nihil amplius effluere sentis. Tum poculum KL alteri porrige & jube, ut ore ad orificium I applicato liquoren exsugat. Ubi igitur haustu absoluto poculum ab ore removèrit, vinum adhuc fluens vestem madidabit.

SCHOLION 1.

75. *Si tubus* CD *vitreus fuerit, aërem* Tab.
in suprema ejus parte residuum una cum II.
aqua fluente per tubum DE *successive ab-* Fig.
ripi observabis. Jucundum inprimis spe- 22.
ctaculum, ubi aërem per tubulum vitreum fundo vasis in E *infixum magna celeritate cum aqua defluentem conspicies. Hoc phænomenon primus observavit* R. P. de la Roche (h), *cumque experimentum repeterem, varias adhuc circumstantias annotavi, unde usus in praxin redundat* (i). *Expertus inter alia sum, quod, cum diameter orificii* D *esset 6 linearum seu digiti dimidii, diameter vero inferioris* E *unius saltem lineæ, aer tubum* DE *per superius* D *ingressus per inferius egredi non potuerit & aquæ fluxum impediverit. Hinc vero jam constat ratio, cur in diabetis istius-*

 modi

(h) Vid. Diarium Trevoltiense A. 1709. art. 86. p. 1709.
(i) in Actis Erudit. A. 1711. p. 15.

modi aquæ fluxus interdum sistatur, antequam omnis effluxerit, continuandus tamen aliquantisper, si tubus DC *elevetur, atque hinc manifestum mihi videtur, quod luminis tam superioris* D, *quam inferioris* E *diameter eadem esse debeat, nec ipse tubus luminibus capacior.*

SCHOLION 2.

76 *Quodsi altitudo tubuli* DE *major fuerit altitudine vasis* AG, *hoc non obstante, aqua per eum fluit. Ut vero fluxus initium fiat, digito ad* E *apposito, tubus* DC *attollatur, ita enim aer in tubo* DE *contentus dilatabitur ac elatere ejus imminuto* (§. 79. Aerom.), *aqua intra tubum* DC *altius assurgens in tubum* DE *sese præcipitem dabit. Quodsi itaque poculi* KL *operculo* K *tubus afferruminetur, ubi bibere volueris, non opus est, ut sugas, sed operculum attolli sufficit.*

PROBLEMA 11.

77. *Aquam per siphonem interruptum elevare.*

RESOLUTIO.

Tab. II. Fig. 24.

1. Duo vasa æqualia AB & IK in eadem planitie collocentur, quorum unum AB sit apertum, alterum vero clausum; utrumque aqua plenum.
2. Ex vase tertio QR undique clauso & ab aqua vacuo tendant duo tubi DC & SH, (quorum longitudo minor quidem, sed non major quam 31 pedum esse potest) in vasa AB & IK, quorum prior fundum vasis AB fere attingit, alter SH operculo vasis IK afferruminatur.
3. Denique vasi IK afferruminetur tubus alius LN epistomio M instructus & tubo DC longior.

Dico, dum aqua per tubum LN descendit, epistomio M aperto, aliam ex vase AB in vas QR per tubum DC ascendere debere.

DEMONSTRATIO.

Cum enim gravitas aëris in tubo SH contenti respectu gravitatis aquæ tubum LN implentis fere nulla sit, motum vero aquæ continuum per tubos LN & DC non impediat; perinde est ac si tubus DC conjungeretur cum tubo LN. Sed in hoc casu, ubi tubus DC alteri LN immediate jungitur, aqua per tubum LN descendit, per alterum DC ascendit (§. 66.). Ergo etiam in altero casu, ubi tubus LN alteri DC mediante tubo SH & vase QR jungitur, aqua per DC ascendere debet, dum per LN descendit. *Q. e. d.*

SCHOLION.

78. *Poterat idem eodem modo demonstrari, quo ascensum & descensum aquæ continuum in cruribus siphonis communis supra evicimus.*

CO-

Digitized by Google

COROLLARIUM.

Tab. II. Fig. 25. 79. Data igitur qualibet exigua caducitate, aqua ad maximam altitudinem elevabitur, si in eadem altitudine collocentur plura vasa A, B, C, D &c. & in locis editioribus alia E, F, G &c. vasaque G & D, F & C, E & B tubis *Pa*, *Mb*, *Ic*, vasa vero G & F, F & E, E & A tubis GN, FK, EL conjungantur, tandemque vasis D, C & B tubi R, S, T cum epistomiis V afferruminentur, qui tubis GN, FK, FL longiores sint. Epistomiis enim apertis, aqua fluens per tubum T elevabit aquam ex A in E; fluens per tubum S eandem attrahet ex E in F; fluens denique per tubum R eam ex F in G attollit, atque ita porro.

SCHOLION.

80. *Aut magnum requiritur præcipitis perpendiculum, aut ingens vasorum apparatus, si ad notabilem altitudinem aqua evehenda. Equidem si in vasa* B, C, D, *Mercurius infunderetur, tubus* BT 27 *digitorum responderet tubo* AE 31 *pedum* (§. 29. Aerom.); *sed hac ratione elevatio aquæ nimis sumtuosa foret. Praxi adeo in altitudinibus majoribus hic aquam elevandi modus parum respondet.*

THEOREMA 15.

Tab. I. Fig. 16. 81. *Fluidum per siphonem* ABC *eodem modo acceleratur, quo acceleratur fluidum per foramen vasis effluens a fluido intra vas ad altitudinem profunditati orificii* C *cruris longioris* BC *infra libellam fluidi* AD, *cui crus siphonis minus* BA *immersum, æqualem consistente.*

DEMONSTRATIO.

Patet ex demonstratione problematis 9 (§. 66.), vim, qua fluidum per siphonem urgetur, esse ut gravitatem fluidi absolutam in ea cruris longioris parte contenti, qua excedit longitudinem cruris minoris supra libellam fluidi, cui immersum, consequenter ut altitudinem DE (§. 34. *Hydrost.*), quæ est excessus istius profunditas infra libellam. Eodem igitur modo motus fluidi per siphonem accelerari debet, quo acceleratur fluidum per vasis foramen effluens, si intra ipsum ad altitudinem DE consistat. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

82. Quoniam aqua per foramen vasis ea celeritate erumpit, quam acquireret cadendo ex altitudine aquæ supra orificium (§. 48); celeritas, qua eadem per siphonem fertur, eadem est, quam acquireret cadendo per profunditatem orificii extra aquam infra ipsius libellam DE consistentis.

COROLLARIUM 2.

83. Et quoniam aquarum per foramina ex diversis vasis erumpentium celeritates sunt in ratione subduplicata altitudinum earum super foraminibus (§. 38); celeritates aquarum per diversos siphones fluen-

tium erunt in ratione ſubduplicata profunditatum orificiorum, per quæ effluunt, infra libellam aquarum, quibus crura minora ſiphonum immerſa.

COROLLARIUM 3.

Tab. II. Fig. 24. 84. Eodem modo patet, in ſiphone interrupto CDSN celeritatem aquæ per orificium N effluentis eam eſſe, quam acquireret cadendo per altitudinem, quæ eſt æqualis differentiæ tubi LN & partis tubi DC ultra libellam aquæ in vaſe contentæ (§. 77.)

COROLLARIUM 4.

85. Similiter patet, per diverſos ſiphones interruptos aquam fluere in ratione ſubduplicata earundem differentiarum tuborum LN & DC, longitudine hujus a libella aquæ in vaſe AB computata.

SCHOLION.

86. *Hinc prono alveo fluunt alia in theoria & praxi ſiphonum utilia, quæ antecedentium gnarus ſua ſponte inde inferet.*

PROBLEMA 12.

Tab. II. Fig. 26. 87. *Aquam vi elaſtica aëris compreſſi movere.*

RESOLUTIO.

Sit vas quodcunque ABCD, e cujus medio aſſurgat tubus EF fundum non prorſus contingens, ſitque apertura aliqua in G epiſtomio ad arbitrium obturanda. Quodſi jam per aperturam G ſive ope follis, ſive ſyringis, ſive antliæ pneumaticæ, ſive flatu oris vehementiore aë em intruſeris in vas CD ad medietatem AB aqua repletum, aër comprimetur in parte vaſis reliqua (§. 17. *Aerom.*) adeoque elater ejus intendetur (§. 78 *Aerom.*). Cum adeo elater externi ambientis minor ſit, ſi clauſo epiſtomio G epiſtomium F aperias: aqua ex vaſe AD per tubum EF ab aëre ſeſe expandente expelletur.

SCHOLION.

88. *Si aër ope antliæ comprimitur, non opus eſt epiſtomio* G, *ſed ſufficit cochlea muniri aperturam. Tubus vero* FE *in cochleam deſinit, ut ad antliam firmari poſſit.*

PROBLEMA 13.

89. *Vi aëris loco ſuo expulſi aquam movere.* Tab. II. Fig. 27.

RESOLUTIO.

1. Sit vas quodcunque PQ per diaphragma EH in duo receptacula diſtinctum.
2. In ſuperiori ſit catinus DB foramine in K pertuſus, quod cochlea obturari poſſit.
3. Per ejus medium tranſeat tubus AC diaphragma HE non prorſus attingens & epiſtomio I munitus.
4. Fundo catini conferruminetur

tubus

Digitized by Google

tubus DEL ultra diaphragma ad fundum fere vasis inferioris HQ protensus, tuboque AC longior.

5. Denique diaphragmati conferruminetur alius tubus GF in vas inferius HQ hians & ad catinum fere assurgens.

Dico, si receptaculum superius PR aqua repleas per foramen K & illo obturato aquam etiam catino infundas, fore ut omnis ex receptaculo superiore PR ejiciatur per tubum CA & per tubulum DL in inferius descendat.

DEMONSTRATIO.

Dum enim aqua per tubum DL defluit, aër in receptaculo inferiore comprimitur (§. 17 *Aerom.*), adeoque elater ejus intenditur (§. 78. *Aerom.*). Quodsi ergo epistomium I aperias elater aëris inclusi fortior magis premit aquam in vase PR, quam externus ad A resistit. Aquam igitur ex vase PR per tubum AC expellit. *Q. e. d.*

SCHOLION.

90. *Quodsi tubulus* AO *exiguo lumine fuerit instructus, ut aqua ex eo saliat; ingeniosa hæc machina ab inventore* Herone *Alexandrino* Fons Heronis *appellatur. Patet ex demonstratione aquam hic urgeri ad saltum vi elastica aeris compressi, quemadmodum in problemate præcedente, consequenter fontem Heronis pendere a modo ingenioso aerem intra vas vi structuræ fontis comprimendi.*

PROBLEMA 14.

91. *Aquam per rarefactionem aëris expellere.*

RESOLUTIO.

1. Sint duo vasa ABCD & CDEF per diaphragma CD a se invicem separata habeatque superius ABCD catinum AGHB conferruminatum ejusdem cum ipso capacitatis. Tab. II. Fig 28.

2. Ex diaphragmate CD ascendat tubulus IK fundum catini non prorsus attingens.

3. Per fundum catini exsurgat alius tubulus LM, cujus lumen L a diaphragmate exiguo intervallo distet.

Dico, si vas CF prunis imponatur, aut faces ardentes fundo ejus EF supponantur, fore ut aqua ex vase AD per tubulum LM ejiciatur.

DEMONSTRATIO.

Dum enim aër in vase CEFD incalescit, rarefit (§. 23. *Aerom.*) ejusque elater intenditur (§. 146. *Aerom.*). Elater igitur aëris inclusi fortius premit aquam in vase AD contentam, quam externus ad M resistit

ſiſtit, conſequenter aqua per tubulum LM ejicitur. *Q. e. d.*

THEOREMA 16.

91. *Si aqua vi aëris compreſſi per tubum ejicitur, motus eodem modo acceleratur, quo acceleraretur preſſione aquæ ad tantam altitudinem conſiſtentis, quanta ſufficit ad æquilibrium cum exceſſu elateris aëris compreſſi ſupra elaterem primitivi, ſeu ejus, qui ad orificium tubi reſiſtit.*

DEMONSTRATIO.

Si enim aqua vi aëris compreſſi per tubum ejicitur, vis, quæ impenditur ad eam ejiciendam, eſt exceſſus vis elaſticæ aëris compreſſi ſupra vim elaſticam aëris ad orificium tubi reſiſtentis, reliqua ad vincendam reſiſtentiam imſumta. Quoniam igitur perinde eſt, ſive aqua ejicienda urgeatur vi elaſtica aëris, ſive vi gravitatis aquæ eidem æqualis; motus ejus eodem modo accelerari debet, quo acceleratur preſſione aquæ ad tantam altitudinem conſiſtentis, quanta ſufficit ad æquilibrium cum exceſſu elateris aëris compreſſi ſupra elaterem ejus, qui ad orificium tubi reſiſtit. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

93. Ea igitur celeritate ejicitur, quam acquireret cadendo per altitudinem, ad quam conſtituta aqua æquilibrium cum exceſſu elateris aëris compreſſi ſupra elaterem ad orificium reſiſtentis ſervat (§.48).

COROLLARIUM 2.

94. Et ſi diverſimode compreſſus aër ejicit aquam, celeritates, quibus ejicitur, ſunt in ratione ſubduplicata altitudinum, ad quas conſtituta aqua cum exceſſu elateris aëris compreſſi ſupra elaterem ad orificium reſiſtentis æquilibrium ſervat (§.38.).

COROLLARIUM 3.

95. Quoniam elater aëris magis compreſſi eſt ad elaterem minus compreſſi ut maſſa aëris magis compreſſi ad maſſam aëris minus compreſſi ſub eodem volumine (§ 80. *Aerom*); ſi aër primitivus in vaſe, antequam comprimitur, fuerit idem cum exteriore ad orificium tubi, per quem aqua ejicitur, reſiſtente, vis, qua aqua ejicitur, eſt ut differentia maſſarum aëris compreſſi & primitivi.

THEOREMA 17.

96. *Si aqua vi aëris compreſſi ſalit, ad eam altitudinem aſcendit, ad quam conſtituta aqua æquilibrium ſervat cum exceſſu elateris aëris compreſſi ſupra reſiſtentiam aëris ad orificium tubi.*

DEMONSTRATIO.

Quoniam enim aqua vi aëris compreſſi ſaliens ea celeritate ejicitur, quam acquireret cadendo per

per altitudinem, ad quam constituitur æquilibrium servans eum excessu elateris aëris compressi supra elaterem ad orificium resistentis (§. 92.); dum vi aëris compressi urgetur, perinde est ac si per illam altitudinem descendisset. Enimvero si per eam ascendisset, ad altitudinem saliret, isti æqualem (§. 322. *Mechan.*). Ad tantam igitur etiam salire debet, dum vi aëris compressi impellitur. *Q. e. d.*

COROLLARIUM I.

Tab. II. Fig. 27. 97 Quia in fonte *Heronis* vis elastica aëris in vase PR compressi æquilibratur columnæ aquæ in tubo DL contentæ (§. 89.); aqua ex eodem salit ad altitudinem æqualem altitudini orificii D a libella aquæ in vase HQ.

COROLLARIUM 2.

98. Quoniam tantundem aquæ per tubum DL descendit, quantum per orificium A ejicitur, adeoque altitudo orificii D supra libellam aquæ in vase HQ continuo decrescit; altitudo quoque saltus continuo decrescit.

COROLLARIUM 3.

Tab. II. Fig. 26. 99. Et cum in vase AD aër continuo magis magisque dilatatur, dum aqua per tubum EF salit (§. 36. *Aerom.*), ac præterea aquæ libella in eodem vase AD continuo descendente, resistentia aquæ in tubo EF crescat (§. 34. *Hydrost.*); altitudo quoque aquæ salientis continuo decrescere debet (§. 95.).

SCHOLION.

100. *Nimirum gravitas aquæ in tubo* EF *ultra libellam in vase* AD *consistentis superaccedit resistentiæ aëris ad orificium* F *& cum eadem unita agit, ita ut resistentia totalis, quam experitur vis elastica aëris compressi aquam in vase ad ascensum per tubum urgens componatur ex elatere aëris ad orificium* F *resistentis & gravitate aquæ in tubo* FE *ultra libellam in vase consistentis elevatæ. Sed quoniam aqua in aëre saliente resistentia ista æquatur columnæ aquæ 31 pedes Rhenanos altæ* (§. 28. Aerom.), *tubus vero* EF *vix dimidii vel unius pedis in vase vacuo existit; resistentia aquæ in tubo vulgo non attenditur.*

PROBLEMA 15.

101 *Data ratione aëris primitivi ad compressum, invenire altitudinem saltus.*

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Quoniam aër comprimitur in ratione ponderum (§. 73. *Aerom.*), vis autem elastica aëris primitivi æquilibratur columnæ aquæ 31 pedum Rhenanorum (§. 28. *Aerom.*); ex data ratione aëris primitivi ad compressum inveniri potest altitudo aquæ cum compresso æquilibrium servantis in vacuo (§. 302. *Arithm.*).

2. Quodsi ergo aqua in aëre libe-

Digitized by Google

ro salit, cum resistentia aëris prope orificium æquetur columnæ aquæ 31 pedum Rhenanorum (§ 28. *Aerom.*); altitudo inventa mulctanda est 31 pedibus Rhenanis, ut relinquatur altitudo saltus.

E. gr. Sit aër compressus duplus aëris primitivi, adeoque ratio primitivi ad compressum ut 1 ad 2; reperietur columna aquæ compresso æquilibratæ 62 pedum Rhenanorum. Quodsi ergo aqua in aëre libero salit, resistentia est 31 pedum, adeoque altitudo saltus itidem 31 pedum. Eodem modo patet, si aër compressus sit triplus vel quadruplus primitivi; fore altitudinem saltus in casu priore 62 in posteriore 93 pedum & ita porro.

COROLLARIUM.

102 Quoniam data ratione voluminis aëris rarefacti ad volumen condensati seu primitivi datur ratio elateris, quo rarefiens expanditur, ad elaterem primitivi (§. 148 *Aerom.*); eodem modo inveniri potest altitudo saltus, si constet quantum eo gradu caloris, qui aëri incluso inest, idem dilatari possit.

SCHOLION.

103. *Ex his principiis alia bene multa deducere licet: sed nobis dicta sufficiant.*

CAPUT III.

DE

MACHINIS QUIBUS AQUA ELEVATUR.

DEFINITIO 5.

104. *Valvula* seu *assarium* est obturaculum vasis vel tubi, quod introrsum aperiri potest; ast quo magis contra fundum seu diaphragma comprimitur, eo exactius foramen claudit.

COROLLARIUM.

105. Valvula igitur fluidum in vas vel tubum admittit, regressum vero impedit.

PROBLEMA 16.

106. *Valvulam seu assarium construere.*

RESOLUTIO.

Valvulæ simplicissimæ C conficiuntur ex corio, habentque figuram circularem & ansula D clavis affigitur fundo vasis aut diaphragmati, ubi ad obturandum foramen aptantur. Tab. II. Fig. 29.

Fieri

Tab. II. Fig. 30. Fieri etiam possunt ex aliquot orbibus coriaceis intra duos orichalceos firmiter compressis AB & foraminibus circum circa pertusis, quæ alio orbiculo orichalceo CD sursum deorsumque mobili teguntur.

Tab. II. Fig. 31. Parantur porro ex lamina cuprea E, & corio tenui obducuntur, circa cardinem in H mobiles. Ut autem certius relabantur, elatere G instruuntur.

Quemadmodum vero hactenus descriptæ valvulæ embolis potissimum conveniunt, ita in fundo vasorum vel tuborum sequente utendum:

Tab. II. Fig. 32.
1. Foramen A torno excavetur, tantisper in conum desinens.
2. Eidem immittatur corpus conicum orichalceum B torno itidem elaboratum & clavo aut tigillo transverso D impediatur, ne inverti possit.

Vel foramen hemisphæricum excavetur eique globus orichalceus immittatur.

PROBLEMA 17.

107. *Syringem, hoc est, machinam construere, ex qua aqua attracta violenter expelli potest.*

RESOLUTIO.

Tab. III. Fig. 33.
1. Construatur cylindrus ABCD ex materia solida, intus cavus inferius tubulo EF instructus.
2. Immittatur embolus K ex corio vel alia materia, quæ humorem facile imbibit, confectus; qui cavitatem cylindri exacte repleat, ita ut inter ipsum & cylindrum aëri vel aquæ nullus concedatur transitus.

Quodsi tubulo F aquæ immisso embolum K extrahas, in cavitatem ab aëre vacuam ea ascendet (§. 101. *Aerom.*). Embolo igitur intruso, per tubulum EF violenter expelletur.

COROLLARIUM 1.

108. Impetus aquæ eo major ipsaque aqua per longius spatium propellitur, quo major fuerit vis embolum detrudens.

COROLLARIUM 2.

109. Quare cum vis major celerius intrudat embolum, quam minor; quo celerius embolus intruditur, eo majore impetu eoque per longius spatium aqua propellitur.

PROBLEMA 18.

110. *Construere antliam attractivam, cujus ope aqua ex loco profundo in altum evehi potest.*

RESOLUTIO.

Tab. III. Fig. 34.
1. Paretur cylindrus cavus ABCD

Digitized by Google

ex materia solida in aqua verticaliter erigendus, cujus inferior basis I valvula introrsum hiante instruatur (§. 105.).

2. Immittatur embolus EK valvula sursum hiante in L instructus.

3. Pro ejus faciliori extractione & depressione vectis FG applicetur.

DEMONSTRATIO.

Dum enim embolus EK attollitur, aqua valvulam I elevat & in cavitatem cylindri seu tubi AD ruit (§. 101. *Aerom.*). Quodsi ergo idem rursus deprimatur, valvula I aquæ exitum negante (§. 104.), valvula L aperitur & aqua ultra embolum ascendit, repetita emboli agitatione per tubum MH effluxura. *Q. e. d.*

PROBLEMA 19.

111. *Construere antliam, quæ per meram expulsionem aquam elevat.*

RESOLUTIO.

Tab. III. Fig. 35. 1. Cylindrus AB diaphragmate CD, ad quod valvula E aptata est, divisus in aqua collocetur.

2. Embolus F valvula G instructus ita immittatur & regulæ ferreæ IH circa cardinem H mobili affigatur, ut manu in K applicata commode attolli ac deprimi possit.

DEMONSTRATIO.

Embolo enim F depresso valvula G aperitur (§. 104.) & aqua in cavitatem cylindri BC ascendit (§. 34. *Hydrost.*). Sed dum rursus elevatur, valvula G clauditur, ut per embolum nullus ei exitus concedatur: aperitur vero valvula E (§. 105. 106.), & sic aqua vi emboli, agitatione sæpius repetita, per tubum M expellitur. *Q. e. d.*

SCHOLION.

112. *Si quod vitium contrahit hoc antliarum genus, non commode id corrigere licet. Unde non libenter eodem utuntur, ut ut ad quamlibet altitudinem datam aquam elevet, si vis sufficiens in K applicetur: ea enim attolli aquam palam est.*

PROBLEMA 20.

113. *Construere antliam, quæ aquam attractam violenter aliorsum expellit.*

RESOLUTIO.

1. Paretur cylindrus ex orichalco ABCD in L valvula instructus & in aqua collocetur. Tab. III. Fig. 36.

2. Immittatur embolus K sine valvula ex ligno viridi, quod humore imbibito non amplius intumescit, tornatus & corio vel stupa vestitus.

3. In H afferruminetur tubus alius HN cum valvula sursum hiante I.

DE-

DEMONSTRATIO.

Dum enim embolus K attollitur, aqua valvulam L aperit (§. 105.) & in cavitatem cylindri ascendit (§. 34. *Hydrost.*). Sed cum rursus deprimitur, valvula I aperitur (§. 105.) & per tubum HN aqua expellitur. *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

114. *Ingeniosæ hujus machinæ inventor fuit* Ctesibius, *qui primus de aqua antliarum ope elevanda cogitavit, plurimis inventis mechanicis & hydraulicis suo ævo celebris,* Vitruvio *autore* (k). *Ab eo antliæ dicuntur* machinæ Ctesibianæ.

SCHOLION 2.

115. *Ejus vires, sublato affrictu, multiplicare studuit diu multumque in theoria & praxi aquarum elevandarum versatus* Morlandus (l). *Virga nimirum ferrea* D *inter trochleas,* B *&* C *evitandi affrictus gratia sursum deorsum movetur* (§ 956. Mechan.) *& ponderibus* E, F, G, H *oneratur, ut aquam fortius per tubum plumbeum* TV *expellat embolus* LM *ex orichalco tornatus & intra exiguum circulum coriaceum ad basin superiorem* NI *cylindri orichalcei* RN *dextre aptatum fine omni fere frictione mobilis, ad quam tollendam & duodecim annorum studium, & multum argenti se impendisse fatetur laudatus inventor.* Tab. III. Fig. 37.

PROBLEMA 21.

116. *Aquam ope catenarum situlis instructarum elevare.*

RESOLUTIO.

1. Intra aquam horizontaliter collocetur cylindrus, aut prisma sexangulare MN circa axiculum ferreum mobile. Tab. III. Fig. 38.
2. Eo in loco, quo aqua elevari debet, constituatur cylindrus aut prisma simile OP alteri parallelum & circa axiculum ferreum itidem mobile.
3. Situlæ S catenis connectantur, quæ utrumque cylindrum vel prisma ambiant. Alii situlas coriaceas funibus connexas præferunt, tum ne facile diffringantur, tum ne hieme (quod sæpius accidit) catenis dissilientibus fundum aquæ petant.

Quodsi cylindrum superiorem OP convertas, inferior similiter convolvitur & situlæ per aquam trajectæ aquam hauriunt superius in T effundendam.

SCHOLION.

117 *Quoniam situlæ utrinque vacuæ in æquilibrio sunt; pondus elevandum est aqua in situlis ex altera parte contenta, ubi*

(k) lib. 10. c. 12. conf. lib. 9. c. 9.
(l) Elevation des Eaux c. 4. art. 1. p. 35. & seqq.

ubi ab affrictu discesseris, qui in his machinis non exiguus est.

PROBLEMA 12.

118. *Rosarium construere ad elevandam aquam.*

RESOLUTIO.

Tab. III. Fig. 39.

1. Tubus ligneus AB in aqua constituatur tantæ altitudinis, ad quam aqua elevanda.
2. Tum sub aqua, tum in superiori loco, quo aqua elevanda, collocentur ut in problemate præcedente duo cylindri GH & ED circa axiculos ferreos mobiles.
3. Ad funem, cujus extremitates inter se connexæ, circa cylindros GH & ED circumductum aptentur globi ex corio aliaque materia molli compacti, aut (ut minor sit frictio) hemisphæria circulo coriaceo tecta, qui cavitatem tubi exacte replet.

Dum enim cylindris circumvolutis globi aut hemisphæria per tubum AB trahuntur, aquam binis interjectam una attolunt, in L effluentem.

SCHOLION.

119. *Alii utuntur prismatibus quadratis loco tuborum & tubulis ligneis quadratis loco globulorum. Immo & in tubis nonnulli orbiculos ligneos catena connexos globulis substituunt. Caterum hæc machina usum quoque habet in fossis & fluminibus a fæcibus purgandis. Ingens tamen affrictus esse solet, quem parum curare solent, ubi virium ad aquam elevandam compendium quæri necessitas nulla jubet: id quod & de aliis machinis, in quibus ingens affrictus est, notandum.* Tab. III. Fig. 40.

PROBLEMA 13.

120. *Aquam tympano vel rota situlis instructa elevare.*

RESOLUTIO.

Structura admodum variari solet pro diversitate quantitatis aquarum elevandarum & altitudinis, ad quam evehenda.

Si magna aquæ quantitas ad exiguam altitudinem elevari debet; tympanum construitur AB in 8 cavitates divisum, quæ aperturas habent tum in peripheria tympani C ad hauriendum aquam, tum ad tubum DE, qui axis vices sustinet, ut aqua per ejus foramina E in cistam effundi possit. Tab. IV. Fig. 41.

Si minor aquæ quantitas ad majorem altitudinem elevanda, situlæ ligneæ pice obductæ A ad peripheriam rotæ aptantur, quæ aquam hauriunt, dum per eam trajiciuntur, rota circumacta, & superius in B effundunt. Tab. IV. Fig. 42.

Quod-

Digitized by Google

Tab. IV. Fig. 43. Quodsi rotæ palmulas non in fronte gerant, spatium binis interjectum hinc inde clauditur, nonnisi foramine in palmula superiori A relicto, per quod aqua hauritur, & apertura B ad latus facta, per quam rursus effunditur.

Tab. IV. Fig 44. Sunt qui situlas congiales A vel (quod præstat, ne scilicet tantum aquæ perdatur) capsas quadratas unico foramine instructas B ad latus rotæ aptant: sunt & qui heli-
Fig. 45. cibus CD a peripheria ad centrum fere tendentibus instruunt. Alios modos silentio præterimus.

SCHOLION.

121 *Rotæ istiusmodi structura plurimum inter se variant; non tamen omnes ejusdem notæ. Sunt enim, quæ multum aquæ inutiliter dissipant, antequam in receptaculum commune effundatur. In praxi tamen ejus non semper habetur ratio, modo aquæ sufficiens copia elevari possit.*

PROBLEMA 24.

122. *Cochlea* Archimedis *aquam elevare.*

RESOLUTIO.

Tab. IV. Fig. 40. 1. Circa cylindrum AB circumvolvitur tubus plumbeus ea lege, qua helicem in cochlea designare solemus (§. 854. *Mech.*).

2. Cylindrus inclinetur ad horizontem sub angulo 45 circiter graduum, sitque orificium tubi B sub aqua demersum.

Quodsi cochleam ita circumagas, ut orificium B contra aquam volvatur, aqua per helicem ascendet tandemque in A effundetur.

Aliter.

1. Basis cylindri tam superior, quam inferior dividatur in 4 vel 8 partes æquales & puncta divisionum D & E, F & G, B & L &c. connectuntur rectis DE, FG, BL &c. in superficie cylindri descriptis, in quas transfertur ex F in O, ex O in M &c. dimidium latus quadrati FN. Intervalla FO, MO &c. dividuntur in tot partes æquales quot sunt lineæ verticales DE, FG, BL &c. & in primam DE transferatur pars una, in HI partes duæ, in CK tres &c. transferantur, ut adeo tota cylindri superficies in areas quadratas sit divisa. Tab. IV. Fig. 47.

2. Anguli diagonaliter oppositi connectantur lineis, quæ filo ab uno angulo usque ad alterum extenso facile designantur, & juxta harum ductum helice sulcetur cylindrus. Tab. IV. Fig. 4..

3. Ad helicem firmentur asserculi ad-

admodum tenues, quorum longitudo 8 circiter digitorum, & pice oblinantur.

4. Basibus denique circum circa affigantur asseres tenues & annulis ferreis muniantur, totaque superficies exterior pice vel bitumine oblinatur.

SCHOLION 1.

123. *Peripheria basium cylindri dividi potest in quotcunque partes æquales & in lineas verticales puncta divisionum conjungentes transfertur distantia helicum, quoties fieri potest, in tot partes æquales subdividenda, quot sunt lineæ verticales, ut inde divisiones earum determinentur, quemadmodum in resolutione problematis præcepimus. Si diameter totius cochleæ 18 digitorum, diameter axis 6 vel 4, distantia helicum 9 digitorum esse solet.*

SCHOLION 2.

124. *Hac machina exigua vi multum aquæ attolli posse, experientia dudum docuit: unde ad exhauriendos lacus eadem utuntur.*

COROLLARIUM.

125. Si ad ingentem altitudinem aqua elevanda, una cochlea non sufficit; sed quæ ab una effunditur, haurienda est ab altera & ita porro.

PROBLEMA 25.

126. *Aquam ex loco humiliore in excelsiorem deducere.*

RESOLUTIO.

1. Construatur turris, aut aliud ædificium, prout elevatio locorum ultra libellam aquarum eo derivandarum requisiverit.

2. Intra turrim seu ædificium aqua elevetur vel ope rotæ ingentis situlis instructæ (§. 121), vel sitularum catenis connexarum (§. 116.), vel rosarii (§. 118.), vel cochlearum Archimedearum (§. 122.), vel antliarum (§. 110. 112.), viribus vel animatis, vel inanimatis legitime applicatis juxta regulas c. 17. Mechanicæ (§. 876. & seqq.). traditas.

3. Aqua effusa in aheno cupreo colligitur, ad cujus fundum aptati sint tubi, per quos iterum descendet.

4. Ne aqua ultra latera aheni unquam assurgat, unus alterve ad summitatem fere protendatur tubus, per quem nimia in fluvium refluat, unde hauritur.

5. Hi tubi verticales connectantur cum aliis horizontalibus vel inclinatis intra terram defossis & ad eum usque locum protensis (§. 14.), in quem aqua deducenda.

6. Iis denique in locis, in quæ aqua deducitur, erigantur tubi verticales quantælibet amplitudinis,

in

in quos hient lumina horizontalium epistomio munita, quod ope virgæ ferreæ aperire ac claudere licet, ut aqua ad arbitrium admitti possit (§. 5.).

Aperto enim epistomio aqua in tubo verticali ascendet (§. 34. *Hydrost.*).

SCHOLION.

127. *Antliarum emboli agitantur ope axis curvati duplicis, ita ut unus deprimatur, dum alter attollitur. Inseritur autem axis curvatus axi rotæ aquariæ. Cochleæ* Archimedis *ac cylindri superiores rosariorum & catenarum situlis instructarum instruuntur rotis radiatis, quibus aliæ dentatæ occurrunt. E. g. Ponamus rosarium calcando moveri debere. Construendum igitur erit tympanum ingens* (§. 886. Mechan.), *cujus axi una infigenda rota stellata, occurrens radiatæ, de qua ante diximus. Jungitur autem rotæ radiatæ verticularis ad conservandum impetum. Quodsi equus eandem machinam movere deberet, axi verticali temone instructo* (§ 888. Mechan.) *infigi deberet rota dentes in plano habens, reliquis manentibus ut ante. Quodsi homo partim trahendo, partim deprimendo aquam ope rosarii elevare teneretur, tympano substitueretur axis cum scytalis & rota verticulari* (§. 881. Mechan.). *Si vero motus partim trahendo, partim protrudendo fieri debeat, axi curvato ope vectis homodromi versando* (§. 884. Mechan.) *infigenda rota radiata, quæ circumagat stellatam, cui communis cum alia radiata axis, alii dentatæ dentes in plano, axem cum cylindro rosarii communem habenti occurrente. Unde facile intelligitur, quid in aliis casibus fieri debeat, modo problemata mechanica de potentiarum ad machinas applicatione fuerint perspecta.*

CAPUT IV.
DE
FONTIBUS SALIENTIBUS.

PROBLEMA 26.

128. *Construere fontes salientes.*

RESOLUTIO.

1. Elevetur aqua ex loco humiliore in altiorem (§. 110. & seqq.) & intra vas satis capax colligatur, ex quo per tubos applicatos rursus descendat.
2. Cum tubis hisce connectantur alii horizontales sub terra defossi, per quos aqua usque ad originem fontium salientium deducatur.

3. Denique tubis horizontalibus jungantur alii verticales, quorum tamen altitudo sit multo minor altitudine tuborum, per quos aqua in horizontales defluit.

Aqua per hos in altum prosiliet, quomodocunque fuerint inflexi (§. 56.).

SCHOLION 1.

129. *Quodsi aqua saliens ad altitudinem datam ascendere debet, quæsito satisfieri potest per schol. 3. theor. 22.* (§. 52.).

SCHOLION 2.

130. *Quodsi desideretur, ut tubi dato tempore datam aquæ quantitatem effundant, vel plures tubi ejusdem fontis in data ratione aquas emittant; id obtinere licebit per ther. 3. Cor. 1.* (§. 23) *& per theor. 5.* (§. 27.).

SCHOLION 3.

131. *Si denique aquarum ex diversis unius fontis tubis salientium altitudines inæquales requirantur; quæsito potiemur per theor. 12* (§. 49) *& theor. 13.* (§. 56.): *ubi & observasse juvabit, quæ superius in scholiis theor. 12.* (§ 50 & seqq.) *monuimus.*

PROBLEMA 27.

132. *Fontem construere, ex quo aqua erumpens pilam æneam projiciat, descensumque parantem continuo repellat.*

RESOLUTIO.

1. Fiat globus æneus intus cavus A ex lamina tenui, ne gravitate sua impetum impressum eludat. Tab. V.

2. Tubus, per quem aqua salit, BC sit ad horizontem exacte perpendicularis. Fig. 49.

3. Aquæ sufficiens copia ex insigni altitudine in tubum BC deducatur.

Dico, aquam ex tubo erumpentem globum projicere in altum & descendentem constanter in altum repellere.

DEMONSTRATIO.

Cum enim tubus sit ad horizontem exacte perpendicularis, *per hypoth.* aqua per eum prorumpens perpendiculariter ascendit. Quoniam vero ex insigni altitudine delapsa, *per hypoth.* & ex tubo ea celeritate erumpit, quam cadendo per istam altitudinem acquireret (§. 48.), magna quoque celeritate movetur (§ 87. *Mechan*), adeoque globo impetum imprimit in linea ad horizontem perpendiculari ascendendi (§. 534. *Mechan.*). Sed dum ad eam altitudinem pervenit, ad quam vi impressa ascendere licet (§. 317. *Mechan.*); vi gravitatis suæ juxta eandem perpendicularem relabitur (§. 215. *Mechan.*). In descensu igitur aqua eidem occurrit novoque impetu impresso, ut ante, ascen-

Digitized by Google

ascendere cogit. Quamobrem globus in aëre pendulus sursum deorsum feretur, quamdiu aqua ex tubo saliens satis impetus ad globum repellendum habet. *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

133. Cum ad globi ascensum descensumque reciprocum figura nil conferat; corpus quodcunque alterum non nimis grave eidem substituere licet, e. gr. avem cum alis expansis.

SCHOLION.

134. *Quoniam globus, ut ex alto rursus descendens in aquam salientem incurrat, in eadem constanter linea perpendiculari ascensus descensusque reciprocos continuare debet; hoc fontium genus amat loca ventorum libidini minime exposita.*

PROBLEMA 28.

135. *Construere fontem, qui aquam versus diversas plagas projiciat.*

RESOLUTIO.

Tab. V. Fig. 50. Sit tubus AB aquam advehens verticalis & ipsi infixi sint alii horizontales DE & GH, alii ad horizontem versus diversas plagas inclinati OP & MN, alii denique infra horizontem versus plagas illis intermedias reclinati, ut FL.

Quoniam aqua directionem luminis, per quod prorumpit, retinet; per lumen A saliens perpendiculariter ascendet, per lumina vero L, H, N, P, E prorumpens arcus diversæ amplitudinis (§. 59.) & ad diversas plagas tendentes describet. Fons igitur aquam versus diversas plagas ejicit.

Aliter.

Tubus AB, per quem aqua salire debet, sit superius clausus in A, & luminis loco vel undiquaque, vel in dimidia superficiei parte foraminulis exiguis pertusus. Tab. IV. Fig. 51.

Quodsi tubus fuerit ad horizontem perpendicularis, aqua versus omnes plagas per foraminula saliet, eruntque jactus horizontales pro altitudine lapsus (§. 58.) satis ampli.

COROLLARIUM.

136. Quodsi ergo tubum AB ad altitudinem hominis fere assurgentem epistomio C instruas; eo aperto, spectatores veluti ab imbre improviso madidati recedent.

SCHOLION.

137. *Probe autem tenendum est, luminum, per quæ aqua egreditur, diametros ipsorum tuborum aquam advehentium diametris minores fieri debere, ne aëris resistentia aliaque impedimenta* (§. 50 & seqq.) *impetum aquæ statim eludant. Ipsi quoque fontes sufficientem copiam suppeditare; aqua impetu sufficiente gaudere debent.*

PROBLEMA 29.

138. *Fontem construere, ex quo aqua instar pluviæ prosiliat.*

RESOLUTIO.

Tab. IV. Fig. 52. Tubo, ex quo aqua salire debet, afferruminetur globus, vel corpus lenticulare ex duobus segmentis sphæricis compositum AB, ex lamina metallica confectum, cujus superior superficies minimis foraminulis pertundatur.

Ita enim futurum, ut aqua cum impetu versus superiorem laminam AB propulsa sub forma tenuissimorum filamentorum in varias guttulas mox dispergendorum prosiliat.

PROBLEMA 30.

139. *Fontem construere, ex quo aqua prosiliens ad modum lintei expanditur.*

RESOLUTIO.

Tab. IV. Fig. 53. Tubo AB afferruminentur duo segmenta sphærica C & D, quæ fere se invicem tangant & mediante cochlea E ad eum situm facile reducuntur, ut crena ambobus interjecta vel arctior, vel latior fiat, prout usus postulaverit.

Alii vel in tubis lumine destitutis, vel in corporibus sphæricis aut lenticularibus tubo afferruminatis crenam efficiunt bene politam.

Aqua per crenam saliens ad modum lintei expanditur, si impetus fuerit sufficiens.

PROBLEMA 31.

140. *Fontem construere, quæ aquam spumescentem jucundo spectaculo ejiciat.*

RESOLUTIO.

Sit tubus AB & paulo infra lumen in ejus medio matrix DE, ut ope cochleæ globus C ita ad lumen B firmari possit, quo omnis fere exitus aquæ denegetur. Tab. V. Fig. 54.

Aqua intra contactum globi & tubi prorumpens spumescet ac fere nivis aërem opplentis floccos æmulabitur.

PROBLEMA 32.

141. *Fontem construere, ubi e variis animantium vel hominum figuris aqua erumpit.*

RESOLUTIO.

Cum aqua per tubos quomodocunque sitos derivari possit & directionem luminis retineat; non alia re opus est, quam ut intra hominum animantiumque figuras tubi abscondantur, quorum orificia hient per eas partes, unde aqua prosilire debet.

SCHO-

SCHOLION.

142. *Ex traditis hactenus principiis haud difficulter eruitur quicquid de fontium ornatu, quo aquæ salienti figuras varias conciliare licet, concipi potest. Omnia nimirum a luminum magnitudine, figura & directione pendent.*

PROBLEMA 33.

143. *Construere fonticulum salientem, qui ubi salire desiit, clepsydræ instar inverti potest.*

RESOLUTIO.

Tab. V. Fig. 55.

1. Fiant duo vasa LM & NO tanto quidem majora, quanto plus temporis aqua saliens consumere debet, tantoque majori intervallo PN a se invicem remota, quanto major aquæ salientis altitudo desideratur (§. 49.).
2. Sit BAC tubus recurvus in C epistomio instructus & DEF tubus alius itidem recurvus in D epistomio munitus.
3. In I & K sint tubuli alii utrinque aperti & fundos vasorum NO & LM fere attingentes: quousque similiter tubi QR & ST pertingunt.

Quodsi jam vas LM fuerit aqua plenum, aperto epistomio C, ea prosiliet fere ad K, & delapsa per tubulum I apertum in vas NO ruet aëremque contentum per tubum QR expellet. Ubi vero aqua omnis ex vase LM effluxerit, machina inversa, delapsa ex vase NO salientem efficiet.

COROLLARIUM.

144. Si vasa LM & NO tantam aquæ copiam contineant, quæ intra horæ spatium tota effluat; Clepsydram habebimus salientem in suas graduationes (§. 45.) legitime dividendam.

PROBLEMA 39.

145. *Construere malluvium cum fonticulo saliente.*

RESOLUTIO.

1. Sit ABCD receptaculum vasis, cui aqua infunditur. Tab. V.
2. Ex vase descendat tubus ab L usque ad M, ubi versus I inflectitur. Fig. 56.
3. In K applicetur epistomium, quo aperto aqua prosiliet fere ad L usque (§. 49.).
4. FG sit catinus aquam excipiens, mox per foramina P & Q in vas quodpiam defluentem.

SCHOLION.

146. *Me non monente apparet, si aquæ salienti varias figuras inducere volueris, id fieri per artificia superius exposita* (§. 135. & seqq.)

PROBLEMA 35.

147. *Flatu oris aquam salientem efficere.*

Digitized by Google

RESOLUTIO.

Tab. V. Fig. 56.

1. Sit AB ſphæra vitrea vel metallica &

2. in ea firmetur tubulus CD exiguo orificio in C inſtructus & in D infimum ſphæræ punctum fere attingens.

Dico, ſi aerem per tubulum CD exſugas & orificium C in frigidam ſtatim demergas, fore ut aqua per tubulum eundem in ſphæram aſcendat. Quodſi iteratis ſuctionibus ultra medietatem fuerit repleta & ore in C applicato aërem per tubulum infles; remoto ore aqua proſiliet. Globo etiam aqua infundi poteſt, ſi tubulus CD mediante cochlea applicetur.

DEMONSTRATIO.

Si enim aërem exſugis, in ſphæra AB incluſus rarior evadit externo, adeoque orificio C in aquam immerſo tantum fere aquæ aſcendere debet, quantum aëris fuerit eductum (§. 101. *Aerom.*). Quodſi vero per tubulum CD aërem infles, is per aquam ſpecifice graviorem (§ 57. *Aerom.*) aſcendet (§. 99. *Hydroſt.*), conſequenter aër incluſus comprimitur (§. 5. *Aerom*). Saliet ergo aqua per tubulum CD (§. 87.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

148 Quodſi hanc ſphæram aquæ ebullienti immittas; aër rarefiet (§ 23 *Aerom.*), adeoque denuo aqua per tubulum CD ſalire debet.

SCHOLION

149. *Fonticulus hic ab inventore* Herone *nomen* Pilæ Heronis *ſortitus eſt.*

PROBLEMA 36.

150. *Fonticulum conſtruere accenſis candelis ſalientem.*

RESOLUTIO.

1. Ex lamina metallica fiant duo vaſa cylindrica AB & CD. Tab. V. Fig. 58.

2. Jungantur tubis utrinque apertis KL, ut aër ex ſuperiore in inferius deſcendere poſſit.

3. Tubis afferruminentur candelabra H.

4. Operculo vero baſis inferioris CF in formam catini efformato tubus FE epiſtomio G inſtructus & ad fundum fere vaſis protenſus.

5. In Q ſit foramen cochlea munitum, ut aqua in vas CD infundi poſſit.

Dico, candelis in H accenſis, aquam per tubum EF ſalire debere.

DEMONSTRATIO.

Eadem eſt, quæ problematis 14 (§. 91.).

SCHOLION

151. *Hoc eodem artificio efficies ſtatuam ad præſentiam ſolis, vel candelis accenſis, lacbrymas effundentem. Neque enim alia* re

re opus est, quam ut ex cavitate, in qua aër rarefit, tubulos ducas ad quasdam alias cavitates oculis vicinas & aqua repletas.

PROBLEMA 37.

Tab. V. Fig. 59. 152. *Fontem intermittentem construere.*

RESOLUTIO.

1. Per axem vasis AB ascendat tubus EF utrinque apertus, foramine in E exciso.
2. Tubus hic afferruminetur tam vasi superiori in H, quam inferiori in E.
3. Vas superius in L habeat foramen cochlea munitum, per quod aqua infundi possit; in basi autem inferiore multa foraminula, per quæ destillare queat.
4. In vase inferiore sit foramen G ita aptatum, ut aqua per eam non defluat, nisi ad altitudinem EM constituta.

Dico, aquam ex hoc fonte per intervalla fluere.

DEMONSTRATIO.

Cum enim foramine E aperto aëri externo per tubum EF in vas superius AB aditus pateat; aëris inclusi elater æqualis est ponderi atmospherico (§. 33. *Aerom.*). Gravitas igitur aquæ in eodem vase contentæ ipsi juncta pressionem majorem efficit, quam resistentia ponderis atmosphærici ad foraminula, adeoque aqua destillare debet. Quam primum vero aqua delapsa foramen E occludit, ut nullus amplius aër in locum aquæ delapsæ succedere possit; perinde est, ac si vas quoddam exiguo orificio instructum inverteres, adeoque fluxus aquæ per foraminula sistetur (§. 95. *Aerom.*). Sed dum aqua ad altitudinem EM usque assurgit, per foramen G in cavitatem vasi, CD descendit. Ea igitur defluente, foramen E rursus aperitur aërique aditus in vas superius AB denuo conceditur. Unde patet, aquam denuo per foraminula ejusdem effluere debere. Habemus adeo fontem intermittentem. *Q. e. d.*

Aliter.

Quodsi fonticulum per intervalla salientem desideres, fiant omnia ut ante, nisi quod loco foraminulorum aptandi sint tubi recurvi PQT & RSV. Tab. V. Fig. 60.

Aliter.

1. Sit tubus EF aquam advehens in cavitatem vasis AB. Tab. V. Fig. 61.
2. Ex hoc vase descendat sipho GHI in minus CD lumine conveniente in L instructus.

Quam-

Quamprimum aqua ultra siphonem AB descenderit, per siphonem fluet, donec vas exhauriatur, (§. 72.) adeoque tamdiu per lumen saliet. Quodsi igitur efficias, ut plus aquæ per lumen L saliat, quam per tubum EF advehitur; fontem habebis intermittentem.

SCHOLION 1.

153. *Hoc posteriori artificio haud difficulter efficies, ut statuæ aquas evomant ex improviso in adstantes.*

SCHOLION 2.

154. *Priori autem superstructa est lampas, quam in gratiam amici inventam publici deinde juris feci* a) *& in sequenti problemate denuo exhibeo.*

PROBLEMA 38.

155. *Lampadem construere, quæ eandem quantitatem olei ellychnio constanter affundit, & in qua largius pabulum flammam nunquam extinguit, multo minus receptaculum ellychnii egreditur, maximo licet calore urgente.*

RESOLUTIO

Tab. VI. Fig. 62.

1. Fiat vasculum cylindricum AC BD, cui oleum infundi possit & ipsi afferruminetur aliud minus formam parallelepipedi habens FED & rostro FH instructum, pro recipiendo ellychnio.
2. Illud diaphragmate KL dividatur fundo DB multo propiore, quam fornici AC.
3. Tubulus PO in P & O utrinque apertus interiori vasculi AB parieti adhæreat, quem *tracheam* appello. Ejus osculum superius P fornicem AC propemodum attingit; inferius vero O superficiem olei ad libellam HI constituti lambit.
4. Diaphragmati afferruminetur tubulus alius MN, utrinque similiter apertus & ad eandem olei libellam HI protensus.
5. Fundo vasis DB afferruminetur tubulus QR, cujus osculum superius Q ultra libellam olei tantillo emineat & transeat per matricem cochleæ V, qua vas AB CD ad pedamentum VTX firmatur.
6. Intra hoc fiat vasculum cavum *ab* & in G foramen exiguum, per quod aëri externo in cavitatem DKLB pateat aditus.
7. Denique in fornice fiat foramen cochlea S munitum, ut lampas

(a) in Actis Erudit. A. 1711. p. 30. & seqq.

pas (si quando opus fuerit) a sordibus purgari queat.

Dico, si lampas a pedamento avulsa invertitur & digito ad foramen G applicato oleum per tubulum QR altero MN paulo ampliorem infunditur, fore ut oleum cavitatem GB ingressum per tubulum NM, vase in latus DC inclinato, in proprium receptaculum AK delabatur, & lampas repleta & ad pedamentum VT rursus firmata munere suo, ut decet, fungatur.

DEMONSTRATIO.

Quamdiu enim oleum ad libellam HI consistit, ne guttula quidem una per MN effluere potest, vi eorum, quæ ad problema præcedens demonstrata sunt (§. 152.). Insensibili autem ejus quantitate absumta, aër per tracheam OP ingreditur & oleum per MN destillat. Eandem itaque quantitatem olei lampas constanter ellychnio affundit. *Quod erat unum.*

Quodsi lampas in locum calidum deferatur, aër supra oleum rarefit (§. 23. *Aerom.*), adeoque oleum per tubulum MN expellitur (§. 9.): quod cum ultra libellam HI assurgat, per tubulum QR in vasculum *ab* defluit, consequenter nec flammam extinguere, nec extra receptaculum ellychnii egredi potest. *Quod erat secundum & tertium.*

SCHOLION.

156. *Ut demonstratio ocularis evaderet, vas* ABCD *ex vitro fieri curavimus observavimusque, tracheam* PO *non nimis arctam esse debere, si desideres, ut olei vel minima quantitas absumta statim refundatur. Etenim gutta olei aëri in tubulum nimis arctum aditum non concedit, nisi ejus vi per totam tubuli longitudinem in vas* ACLK *abripiatur. Unde simul colligitur, operam dandam esse, ut orificium tracheæ sit bene politum.*

PROBLEMA 39.

157. *Construere fonticulum salientem, in quo avicula tantum aquæ sorbeat, quantum ex illo profluit.*

RESOLUTIO.

1. Fiat vas BF per diaphragma ED in duas cavitates divisum, quarum superior AEDB in duas alias AC & CB per diaphragma CN subdividitur. Tab. VI. Fig. 63.
2. In Q, R & S fiant foramina cochleis munienda, ut aqua infundi & effundi possit, prout usus postulaverit.
3. Ex vase AB in vas DF descendat tubus GH fundo illius afferruminatus, fundum vero hu-

jus non prorſus contingens atque clavicula P inſtructus.

4. Ex vaſe DF aſſurgat tubus KI baſi illius ſuperiori afferruminatus, hujus vero baſin ſuperiorem non prorſus attingens.

5. A fundo fere vaſis CB aſcendat alius tubus LM tranſiens per fundum phialæ O aquam ſalientem excipientis, epiſtomio T inſtructus.

6. Denique per roſtrum, corpus & pedes aviculæ vaſi AB inſiſtentis ducatur ſiphon inflexus ZV.

Dico, ſi epiſtomia P & T aperias, vaſis A & B aqua repletis & roſtro aviculæ aquæ immerſo, fore ut aqua per tubulum LM ſaliat & avicula eam ſorbeat.

DEMONSTRATIO.

Dum epiſtomio P aperto aqua per tubulum GH, ex vaſe AC in vas DF deſcendit; aqua ex phiala per roſtrum avis aſcendere debet (§. 77.). Dum vero per ſiphonem ZV ſemel fluit, motus continuatur, donec aqua omnis ex phiala fuerit exhauſta (§. 66.). Enim vero quamdiu aqua per tubum GH deſcendit, aqua ex cavitate CB per tubum LM ſalire debet (§. 89.). Habemus ergo fonticulum ſalientem & aviculam tantum aquæ ſorbentem, quantum ex illo profluit. *Q. e. d.*

SCHOLION.

158. *Eadem prorſus ſtructura eſt fontis* Kircheriani, *in quo avis tantum aquæ ſorbet, quantum a ſerpente in poculum exſpuitur. Abſconde enim tubum* LM *intra corpus ſerpentis & eum inflecte, ut lumen* M *per os hiet: nec difficulter forma fontis in Kircherianum mutabitur.*

PROBLEMA 40.

159. *Fontem conſtruere in vaſe vitreo clauſo ſalientem.*

RESOLUTIO.

1. Sit ſphæra vitrea A, cujus orificium cochlea BE munitum. Tab. VI.

2. Per cochleam tranſeat tubulus DC, exiguo lumine in C, ſed amplioreın D inſtructus, cujus pars major ſit extra vitrum. Fig. 64.

3. Eidem cochleæ afferruminetur tubulus admodum gracilis, ſed altero CD multo longior EF.

4. Sint duo vaſa IK & LM mediante tubo HN inter ſe connexa & baſi ſuperioris IK afferruminetur tubulus GH.

5. Per quem ad vas inferius demittatur tubus EF.

Dico, ſi vas IK & aliquam ſphæræ A partem aqua repleas, aquam ex ſphæ-

sphæra per tubulum EF in vas LM descensuram & per tubulum DC in sphæram ascensuram, per lumen exiguum C saliendo.

DEMONSTRATIO.

Dum enim aqua per tubulum EF descendit, aër in sphæra dilatatur (§. 36. *Aerom.*), adeoque elater ejus minuitur (§. 78. *Aerom.*). Quare cum inclusus ante dilatationem ponderi atmosphærico æqualis existeret (§ 33. *Aerom*), quo aqua in vase IK premitur (§. 21. *Aerom*); inclusus post dilationem ad lumen C minus resistit, quam externus aquam in vase IK premit. Aqua igitur per tubulum DC ascendere & quia lumen C exiguum *per hypoth.*, salire debet (§. 55.). *Quod erat unum.*

Cum vero fonticulus hic saliens sit sipho interruptus, cujus crus minus BD, majus EF; motus aquæ salientis continuatio intelligitur per ea, quæ de continuatione motus fluidorum in siphonibus demonstrata sunt (§. 66.). *Quod erat alterum.*

SCHOLION.

160 *Ex demonstratione apparet, aquam per tubulum* DC *salire debere, modo orificium* D *in aquam immergatur, orificio* F *extra eam constituto. Unde structura fontis multis modis variari potest.*

CAPUT V.
DE
VARIIS MACHINAMENTIS HYDRAULICIS.

PROBLEMA 41.

161. *Fores construere, quibus apertis aqua conspergatur ingrediens.*

RESOLUTIO.

Tab. VI. Fig. 65.

1. Ad latera valvarum juxta superliminare collocentur vasa AB & CD aqua plena, quibus.
2. Tubus recurvus EFGH ita adaptetur, ut pars FG sub limine lateat tubulis I, K, L per foramina liminis hiantibus.
3. In M & N tubo FG applicentur epistomia cum valvis P & Q ita connexa, ut iis apertis & ipsa aperiantur.

Quo facto, aqua per tubulos I, K. &L

Digitized by Google

& L prosiliet & ingredientem madidabit (§. 49.).

SCHOLION.

162. *Eodem artificio riscum construes, quo aperto, facies aperientis aqua conspergatur.*

PROBLEMA 41.

163. *Efficere, ut in horto vel crypta deambulans subito aquis ex terra prosilientibus conspergatur.*

RESOLUTIO.

Tab. VI. Fig. 66. 1. Sub terra ita abscondatur antlia AB, ut virga ferrea GE, qua depressa embolus movetur, paulo ultra ipsius superficiem promineat,

2. Embolus F sit valvula instructus & ita aptetur, ut a pede calcantis depressus a lamina elastica H rursus attollatur.

3. Sit CD tubus aquam in cylindrum AB advehens, contra pulverem terræ ac arenæ granula probe muniendum.

4. Fundo antliæ afferruminetur tubus ILM, cujus orificium M ultra superficiem terræ paulo promineat.

Dico, aquam per M prosilire debere, si pede in G insistas.

DEMONSTRATIO.

Aqua nimirum per tubum CD in superiorem antliæ AB partem delapsa urget valvulam E, quæ cum in partem inferiorem hiet, aperitur & aquæ illuc transitum concedit, in tubo LM usque ad N ascensuræ (§ 34. *Hydrost.*). Quodsi jam pede calcantis embolus F deprimatur, valvula E clausa aquæ regressum in superiorem antliæ partem impedit (§. 104.): quare per tubum LM cum impetu ejicitur. Remoto autem pede ab embolo GF, pistillum situi suo restituitur ope elateris H. Saliet itaque aqua ex M, quoties pes calcantis admovetur embolo G. *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

164. *Cum aqua ex altitudine quadam delapsa, ad eam fere rursus ascendat (§. 49); quæ tubo CD advehitur, ex vase intra terram defosso & in planitie replendo illuc derivari debet.*

SCHOLION 2.

165. *Quodsi vero aqua per tubum CD advecta ex altitudine quadam fuerit delapsa; ita aptanda valvula, cui deprimendæ solum aquæ pondus non sufficiat: vel totum machinamentum alia ratione construi deberet.*

PROBLEMA 43.

166. *Construere machinam, quæ aquam insigni cum impetu elevet.*

RE-

Digitized by Google

RESOLUTIO.

Tab. VII. Fig. 67. 1. Construatur antlia compressiva AB (§. 113.).

2. Ex ea transeat tubulus CD in vas cylindricum HI, cujus ex orichalco paratæ altitudo sit 2 pedum, diameter octo digitorum.

3. Tubus CD sit valvula in D instructus, quæ in cavitatem vasis HI hiet.

4. Denique in K afferruminetur tubus recurvus KL, mediante epistomio O pro arbitrio claudendus & aperiendus.

Dico, hanc machinam aquam ad insignem altitudinem elevaturam.

DEMONSTRATIO.

Embolo enim EF elevato, valvula G aperitur & aqua in antliam AB ascendit (§. 36. *Aerom.*): quo rursus depresso, illa clauditur & valvula D aperta aqua per tubum CD in vas HI ejicitur (§. 105.). Quo facto, cum epistomium O sit clausum, aër in cavitate vasis HI comprimitur (§. 17. *Aerom.*). Quodsi itaque sufficienter fuerit compressus; aperto epistomio, aqua insigni cum impetu per tubum KL prorumpet (§. 87.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM.

167. Quoniam agitatione emboli continuata, aër in eodem compressionis gradu conservari potest; hæc machina aquam continuo ejicit.

PROBLEMA 44.

168. *Hydracontisterium, hoc est, machinam construere, quæ aquam ad incendia restinguenda ad datam altitudinem & in datum locum evomat.*

RESOLUTIO.

1. Fiat cista AB figuram parallelepipedi habens & rotis C instructa, ut commode ad locum incendii advehi possit. Sunt & qui cistam trahæ imponunt, firmitatis gratia, quia non tam facile damnum patitur, quam rota. Tab. VII. Fig. 68.

2. Intra cistam firmetur machina Ctesibiana cum gemino cylindro (§. 113.).

3. Ad agitandos embolos applicentur vectes DE cum axe curvato, ita ut embolus alter deprimatur, dum unus attollitur.

4. Tubus, per quem aqua ejaculatur, immittatur alteri mobili GH, qui ad locum desideratum commode dirigi potest.

Si enim continuo aqua in cistam AB infundatur & emboli nunc ele-

Digitized by Google

ventur nunc deprimantur; aqua per tubum GH ad locum deſideratum ejaculabitur (§. *cit.*). Machina igitur ad reſtinguenda incendia commode utimur.

SCHOLION 1.

169 *Belgæ aliique ipſorum exemplo excitati tubo mobili* GH *ſubſtituunt tubum longum, flexilem, ex materia velorum vel corio factum, qui manu arreptus ad quævis loca incendio infeſtata trahitur ab homine ex conclavi uno in alterum libere deambulante, prout neceſſitas poſtulaverit.* (*Vocatur tubus iſtiusmodi Germanis* ein Schlauch.). *Unde apparet, hac ratione hydracontiſteriis eſſe locum, etiamſi flamma in conclavibus ædificii tantum ſæviat, nec per tectum ac feneſtras foras erumpat.*

SCHOLION 2.

170. *Non inutiliter machinæ Cteſibianæ ſubſtituere licet alteram* in probl. 43. (§. 166) *deſcriptam, quia aquam non per intervalla, ſed continuo ejaculatur.*

PROBLEMA 45.

171. *Efficere, ut ad ſpeculum aut objectum aliud accedens aqua ex improviſo conſpergatur.*

RESOLUTIO.

Tab. VI. Fig. 69.

1. Sit AB ciſta aqua plena, cujus fundo afferruminetur tubus recurvus CDEF.
2. Pars tubi intra ciſtam AB paulo infra embolum elevatum foraminibus nonnullis pertundatur.
3. Denique embolus G ita immittatur, ut ceſſante vi deprimente, per elaterium rurſus attollatur.

DEMONSTRATIO.

Aqua enim per foraminula in tubum CD defluet ac in tubo EF eousque aſcendet, donec in eadem altitudine ſubſiſtat, ad quam aqua intra ciſtam AB conſtituitur (§. 34. *Hydroſt.*). Quodſi vero embolum in H pede deprimas, aquam per F ejiciet, adeoque eadem ex improviſo conſpergeris. *Q. e. d.*

SCHOLION.

172 *Quodſi aqua ex alto delabatur, ſufficit, ut pede deprimatur valvula, quæ aquæ aditum in tubum* EF *concedat* (§ 85.).

PROBLEMA 46.

173. *Conſtruere ſpeculam, in qua ſpeculator conſtitutus ſonum ingentem cornu edat.*

RESOLUTIO.

1. In ſuperiore loco ſpeculæ conſtituatur vas aqua plenum AB & in inferiore aliud aëre plenum CD, contra omnem vero aëris acceſſum optime munitum. Tab. VI. Fig. 70.

2. Ex

2. Ex vase superiori AB in inferius CD transeat tubus EF epistomio L instructus.
3. Ex vase inferiori CD ascendat tubus HG per vas, pedem, corpus & os speculatoris, cui cornu K sit afferruminatum.

Etenim laxato existomio L, aqua ex vase AB per tubum EF descendit & ingenti celeritate aërem ex vase CD per tubum HG expellit, qui dum per cornu egreditur eundem sonum parit, qui aëre in cornu inflato audiretur.

SCHOLION 1.

174. *Simili artificio sonos alios producet.* Kircherus (b) *cantum singularum fere avicularum notis musicis exprimere & in cylindrum phonotacticum aquis per tubos delabentibus facile convertendum transferre docuit: unde multa excerpsit* Schottus (c), *quæ ad hoc argumentum hydraulicum perficiendum tendunt.*

SCHOLION 2.

175. *Huc referenda quoque sunt organa hydraulica jam veteribus nota & a* Vitruvio (d) *descripta, a* Perraltio *in notis schematismo nitido egregie illustrata: de quibus, cum non amplius in usu sint, hic dicere non attinet.*

PROBLEMA 47.

176. *Ventum excitare ad flammam conservandam aptum.*

RESOLUTIO.

1. Ad basin dolii superiorem AB aptetur tubus CE, cujus altitudo 5 minimum aut sex pedum, amplitudo ea, ut tota aqua continuo affluente repleatur. Tab. VII. Fig. 71.
2. Tubus EC hinc inde instruendus est tubulis F aut, si mavis, foraminulis, ut ab aquá descendente aër una in dolium abripiatur.
3. In basi inferiori DG e regione luminis E sita sit tubula marmorea, aut lapidea alia polita, in quam aqua perpendiculariter incidat.
4. In G aptetur tubus I angustior eo, per quem aqua delabitur, ut delapsa ex dolio iterum effluat.
5. Denique in H sit tubus ad eum locum protensus, quo ventus spirare debet.

Dum enim aqua cum impetu in tabulam lapideam M incidit ac dispergitur, aër ingenti impetu per tubum

(b) Musurgiæ lib. 9. part. 5.
(c) in Magia Universali Naturæ & Artis part. 2. lib. 6.
(d) lib. 10. c. 13. f. m. 315.

Digitized by Google

tubum H expellitur. Habes ergo ventum valide ſpirantem (§. 166. *Aerom.*).

SCHOLION 1.

177. Franciſcus Tertius de Lanis (e) *autor eſt, ſe vidiſſe, hoc artificio ventum majorem fuiſſe excitatum, quam qui follibus decem aut duodecim pedibus longis efficiebatur. Hinc in fornacibus majoribus ad liquandum ferrum aliaque metalla eodem utuntur.*

SCHOLION 2.

178. *Enimvero opus non eſt, ut tubus* CE *ſit rotundus & vas* ABGD *figuram dolii habeat. Utriusque figura ad arbitrium variari, e. gr. quadrata fieri poteſt. Unde quidam loco dolii cameram ex lateribus conſtruunt. Opera tantummodo danda, ne aër ex vaſe* ABGD *ullibi, quam per tubum* H *erumpere poſſit.*

SCHOLION. 3.

Tab. VII. Fig. 72. 179. *Succedit etiam artificium, ſi nullum adſit dolium; ſed aqua per tubum quadratum* AB *nullis ſpiraculis inſtructum tantum delabatur, ad quem aptatus ſit tubus* GH, *unde ventus ſpirat. Quodſi uſus poſtulaverit, ut ventus interrumpatur, obturato orificio* H, *aperiatur aliud* I, *vento exitum concedens.*

PROBLEMA 48.

180. *Duo vaſa conſtruere, quorum unum utut plenum vino, nihil tamen ejus effundit, niſi alterum fuerit aqua plenum eamque effundat: quæ* Vaſa concordiæ *vocantur.*

RESOLUTIO.

1. Sint AB & CD duo vaſa, quæ mediante tubo recurvo EFGH inter ſe communicent. Tab. VII. Fig. 73.
2. In utroque vaſe aptetur ad fundum diabetes (§. 72.), ita ut orificium tubi minoris I ſit infra orificia E & H tubi recurvi EFGH.

Quodſi vas AB vino repleatur, donec lumen I ſit in libella ejus; nihil effluet (§. 72.). Sed ſi vas alterum CD aqua adimpleas totum; per tubum EFGH vas alterum AB ingreditur (§. 34 *Hydroſt.*) & quantitatem liquoris ibidem auget. Quare cum jam utrinque liquor ultra orificium I aſcendat; per M omnis aqua ex vaſe CD, per L vero vinum omne ex vaſe AB effluet (§. 72.). *Q. e. d.*

PROBLEMA 49.

181. *Vas conſtruere, quod tantum vini effundit, quantum aquæ infuderis.*

RE-

(e) in Magiſterio Naturæ ac Artis lib. 5. c. 3. artif. 25. f. 197.

RESOLUTIO.

Tab. VII. Fig. 74. 1. Fiat vas ADBC in duas cavitates per diaphragma GF divisum & undiquaque contra accessum aëris probe munitum.

2. Operculo AH afferruminetur tubulus HI per cavitatem unam GB ad fundum fere vasis CB pertingens.

3. Cavitates duæ inter se communicent tubo recurvo LK.

4. Denique cavitati alteri immittatur tubulus M & utraque cavitas instruatur foramine cochlea munito, ut, si opus fuerit, liquor infundi & rursus effundi possit.

Quodsi enim cavitatem AF vino repleas, nihil infusi per MN effluet (§. 34. *Hydrost.*). Enimvero si per tubulum HI aquam cavitati alteri affundas; aër per tubum KL in cavitatem alteram propellitur, adeoque vinum per tubum MN expellit.

PROBLEMA 50.

182. *Vas construere, quod liquorem excipit, donec fuerit plenum, si constanter eum affuderis; sed ne guttam amplius admittit, ubi semel cessaveris.*

RESOLUTIO.

1. Vas AB per diaphragma CD in duas cavitates ACD & CDB dividatur, quarum superior aperta esse potest.

2. Ad diaphragma in cavitate superiore AD aptetur diabetes GF: sub diaphragmate autem in cavitatem inferiorem hiet tubulus H. Tab. VII. Fig. 75.

Quodsi aquam constanter affundas, ea per diabetem GF defluet in cavitatem inferiorem CD aëremque per tubulum H expellet (§. 72.). Sed si aliquamdiu desistas, aër tubum longiorem diabetæ replebit, excepta parte FE aquæ immersa. Nihil ergo amplius per tubum istum in cavitatem BC defluet.

PROBLEMA 51.

183. *Vas construere, ex quo per idem orificium vel aqua, vel vinum fluit, prout desideraveris, vel etiam mixtum ex aqua & vino.*

RESOLUTIO.

1. Sit vas AB per diaphragma CD in duas cavitates divisum. Tab. VII. Fig. 76.

2. In operculo vasis AE fiant duo foramina F & G, per quæ aëri in utramque cavitatem aditus patet.

3. In fundo fiant duo alia L & D, per quæ liquores in cavitatem IHB descendere possunt.

Digitized by Google

4. Ex terria hac cavitate procedat tubulus M.

Quodsi foramen G obtures, per tubum M effluet vinum ex cavitate CI. Si foramen F obtures, fluxus vini cessabit, fluetque aqua ex cavitate CB per eundem tubulum M. Quodsi denique utrumque foramen F & G fuerit apertum; aqua & vinum una per tubulum M effluent.

SCHOLION.

184. *Ex his principiis innumera alia derivare licet.*

CAPUT VI.

DE CURSU FLUMINUM.

DEFINITIO 6.

185. *Alveus fluminis* est cavitas in superficie Telluris effecta, intra quam aqua continuo decurrit.

DEFINITIO 7.

186. *Alveus naturalis est*, qui a natura effectus est. *Alveus* vero *artificialis* vocatur, qui arte effectus fuit.

SCHOLION.

187. *Istiusmodi alveos artificiales parant molitores ad aquas in rotas molares derivandas* (§. 925 Mechan.). *Germanico idiomate alveus naturalis* der wilde Bach, *alveus autem artificiales* der Mühlgraben *appellatur.*

DEFINITIO 8.

188. *Sectio alvei* est planum ad fundum perpendiculare, cujus termini aquam per alveum decurrentem non egrediuntur.

SCHOLION.

189. *Ponamus aquam intra alveum totam subito abire in glaciem & secari plano ad fundum alvei perpendiculari. Quæ hinc prodit sectio, erit ea, quæ nobis hic sectio alvei vocatur.*

DEFINITIO 9.

190. *Sectio naturalis* est sectio alvei naturalis: *Sectio vero artificialis* sectio alvei artificialis.

SCHOLION.

191. *Definitio adeo sectionis fluminis, quam dedimus, cum de molendinis ageremus* (§ 913. Mechan.), *est sectionis artificialis, quoniam ibi cum alveo artificiali, per quem aqua ad rotas molares deducitur, nobis fuit negotium.*

CO-

COROLLARIUM 1.

192. Quoniam constat alveos naturales figuram habere prorsus irregulatem, quæ ad aliquam geometricam commode reduci nequit; sectio naturalis figura plana irregularis est.

COROLLARIUM 2.

193. Quia vero alvei artificiales figuram parallelepipedi habent; sectio artificialis est rectangulum parallelogrammum (§. 462. *Geom.*).

SCHOLION

194. *Qualis figura sit sectio artificialis jam ostendimus alibi,* (§. 914 Mech). *Potest vero figura quæcunque irregularis ad parallelogrammum reduci, cujus basis latitudini fluminis æqualis. Unde in sequentibus per sectionem intelligemus rectangulum, cujus latitudo eadem cum latitudine fluminis, nisi res ipsa loquatur posse quamcunque sectionem supponi.*

DEFINITIO 10.

195. *Sectiones* dicuntur *æquiveloces,* per quas aqua eadem celeritate media fluit. Quid vero sit velocitas seu celeritas media, commodius docebitur deinceps.

DEFINITIO 11.

196. *Sectio velocior* est, per quam aqua celerior fluit; *Sectio tardior,* per quam fluit tardior.

DEFINITIO 12.

197. *Flumina in statu manente* sunt, si superficies aquæ intra alveum nullibi nec attollitur, nec deprimitur, sed eadem manet in eodem loco profunditas.

SCHOLION

198. *Neque enim repugnat, ut propter alvei irregularitatem flumen alibi sit profundius, alibi minus profundum.*

DEFINITIO 13.

199. *Flumen intumescit*, si superficies aquæ intra alveum attollitur; *detumescit,* si eadem deprimitur.

THEOREMA 18.

200. *Aquæ libere fluentis in alveo declivi cursus acceleratur propter declivitatem fundi; in horizontali propter pressionem, quam inferior sustinet a superiori.*

DEMONSTRATIO.

Aqua enim fluidum grave est & quidem gravitatis eximiæ (§. 64. *Hydrost.*). Sed gravia per declivia seu ad horizontem inclinata motu accelerato deorsum ruunt (§. 284. *Mech.*). Ergo etiam aqua per alveum declivem motu accelerato ruere debet, atque adeo cursus fluminis acceleratur per fundi declivitatem. *Quod erat unum.*

Cum aqua in alveo horizontali ad aliquam a fundo altitudinem assurgit; inferiori incumbit superior.

Enimvero motus aquæ ob pressionem, quam a superiore sustinet, perinde ac cadendo per aliquam altitudinem, acceleratur (§. 48.). Ergo cursus fluminis acceleratur quoque per pressionem, quam aqua inferior a superiore sustinet. *Quod erat alterum.*

COROLLARIUM 1.

201. Quo declivior adeo fundus alvei est, eo celerius aqua per eundem decurrit.

COROLLARIUM 2.

202. Quo profundior aquæ in alveo horizontali altitudo est, ad quam intra alveum assurgit, eo celerior cursus fluminis.

COROLLARIUM 3.

203. Quoniam aqua fundo propior magis premitur, quam ab eo remotior; quo fundo propior, eo cursus ejus magis acceleratur.

COROLLARIUM 4.

Tab. VIII. Fig. 77. 204. Quoniam celeritas per planum inclinatum AB a gravi in B acquisita est ut radix altitudinis AD (§. 287. *Mechan.*); aqua etiam si libere fluit per canalem declivem AB in B eandem celeritatem acquirere debet, quæ est ut radix altitudinis AD.

COROLLARIUM 5.

205. Quodsi aqua per foramen B egrederetur ex vase, in quo ad altitudinem BF ipsi AD æqualem consisteret; ejus quoque celeritas esset ut radix altitudinis BF sive AD (§. 48.). Aqua igitur per canalis inclinati sectionem eadem velocitate movetur, ac si flueret ex vase per lumen sectioni congruens a superficie aquæ tantundem remotum, quantum sectio ab horizontali per initium canalis ducta distat.

THEOREMA 19.

* 206. *In qualibet sectione canalis inclinati celeritas aquæ libere fluentis major est in fundo, quam in superficie.*

DEMONSTRATIO.

Ducatur per originem canalis A linea horizontalis AE, sitque sectio, per quam aqua fluit BC, quæ est ad fundum AB perpendicularis (§. 188.). Demittantur ex B & C perpendiculares ad AE, ducaturque HC ipsi DB parallela: erit GF perpendicularis ad HC (§. 230. *Geom.*) & FG=EC (§. 257. *Geom.*), consequenter FB> FG vel EC. Enimvero aquæ in C celeritas ea est, quam cadendo per altitudinem EC acquivisisset, aquæ autem in B ea, quam cadendo per FB haberet (§. 287. *Mechan.*). Major igitur celeritas in B, quam in C (§. *cit.*). *Q. e. d.*

SCHO-

Digitized by Google

SCHOLION.

207. *Sequitur ex iis, quæ demonstrata sunt, fluminis cursum continuo celeriorem fieri debere, quo longius juxta fluvium progrederis: id quod tamen experientiæ parum convenire videtur. Tenendum itaque & ripas, & fundi inæqualitates causari resistentias, per quas celeritas continuo imminuitur, immo modo acquisita rursus extinguitur. Sed de his impedimentis accidentalibus nostrum jam non est dicere. Id tantummodo inculcandum esse censemus, cum declivitas fundi exigua sit, gravitatem quoque acceleratricem exiguam esse, cum maxima pars ad actionem in fundum, minima autem ad descensum impendatur* (§ 261. Mechan.).

DEFINITIO 14.

208. Per *celeritatem* seu *velocitatem mediam* intelligo eam, qua si aqua flueret omnis per sectionem, tantundem eodem tempore per eam effunderetur, quantum celeritate inæquali per eandem fertur.

SCHOLION.

209. *Hinc intelligitur, cur sectiones æquveloces definiverimus per eas, per quas aqua eadem celeritate media fluit* (§. 195.). *Quoniam enim aqua inferior celerior fluit superiori ob diversam pressionem & fundi declivitas diversa diversæ quoque celeritatis causa est; per sectiones eadem celeritate variabili non fluit aqua, nisi eædem & æquales, & similes fuerint, adeoque theoremata de sectionibus æquvelocibus non eam acciperent latitudinem, quam habere possunt, nisi variabilis celeritas ad mediam quandam constantem reduceretur.*

THEOREMA 20.

210. *Per sectiones æquales & æqueveloces eodem tempore æquales aquarum quantitates fluunt.*

DEMONSTRATIO.

Per sectiones enim æqueveloces aqua fluit eadem celeritate media (§. 195.). Quare cum vi celeritatis mediæ tantundem aquæ per sectionem fluat, quantum celeritate variabili eodem tempore per eandem fluit (§. 208.) & sectiones æquales sint *per hypoth.* eodem tempore per sectiones æquales & æqueveloces eodem tempore æquales aquarum quantitates fluunt. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

211 Quodsi ergo sectiones æqueveloces fuerint inæquales, cum minor parti majoris æquetur (§. 20 *Arithm*); per partem majoris tantundem aquæ eodem tempore fluit, quantum per minorem, consequenter per majorem totam plus fluit.

COROLLARIUM 2.

212. Et quoniam per sectionem æquevelocem duplam dupla, per triplam tripla, per quadruplam quadrupla aquæ

 quan-

Digitized by Google

quantitas fluere debet, ac ita porro in quacunque ratione inæqualitatis (§. 210.); Quantitates aquarum per æqueveloces sectiones fluentes eodem tempore sunt inter se ut sectiones.

THEOREMA 21.

213. *Per sectiones æquales eodem tempore fluentes aquæ sunt ut velocitates mediæ.*

DEMONSTRATIO.

Sint duæ sectiones æquales A & B, & aqua fluat per B dupla celeritate, qua fluit per A. Concipiatur sectio infinite parvæ crassitiei & huic respondens aqua transeat tempusculo infinite parvo per sectionem A. Quoniam celeritas media in sectione B dupla est *per hypoth.* dum aqua a sectione A distat intervallo crassitiei isti respondente, altera a B duplo istiusmodi intervallo distare debet (§. 33. *Mechan.*). Dupla igitur quantitas aquæ tempusculo infinite parvo eodem fluit per sectionem B. Jam cum tempus quodcunque in istiusmodi tempuscula æqualia resolvi possit, & singulis per B dupla fluat aquæ quantitas *per demonstrata*; evidens est quod omnibus istis tempusculis simul sumtis, hoc est dato quocunque tempore aquæ per sectionem B dupla quantitas fluere debeat: quod cum eodem modo fieri intelligatur in ratione celeritatum quacunque; per sectiones æquales eodem tempore fluentes aquæ sunt ut velocitates mediæ. *Q. e. d.*

THEOREMA 22.

214. *Si sectiones fuerint inæquales, nec æqueveloces; quantitates aquarum per eas eodem tempore fluentes sunt in ratione composita sectionum & celeritatum mediarum.*

DEMONSTRATIO.

Fluat dato tempore per sectionem S celeritate media C quantitas aquæ Q & eodem vel æquali tempore per aliam quamcunque sectionem *s* alia quacunque celeritate *c* quantitas aquæ *q*. Fluat vero eodem tempore per sectionem S celeritate *c* quantitas aquæ *m*. Quoniam aquæ quantitates *q* & *m* per sectiones inæquales *s* & S eadem celeritate media fluunt; erunt eædem in ratione sectionum (§. 212.). Et quia quantitates Q & *m* per æquales sectiones S diversa celeritate C & *c* fluunt; erunt eædem in ratione celeritatum C & *c* (§. 213.) Habemus adeo $Qm : mq = SC : sc$ (§. 213. *Arithm.*), & hinc $Q : q = SC : sc$ (§. 181. *Arithm.*) con-

Digitized by Google

consequenter quantitates aquarum Q & q per sectiones inæquales, nec æqueveloces fluentes sunt in ratione composita sectionum S & s atque celeritatum mediarum C & c (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM. 1.

213. Si $Q = q$, erit $SC = sc$, adeoque $S : s = c : C$ (§. 299. *Arithm.*), hoc est; si eodem tempore quantitates aquarum per inæquales sectiones diversa celeritate media fluunt, erunt sectiones in ratione celeritatum mediarum reciproca.

COROLLARIUM 2.

216. Quodsi præterea fuerit $S = s$, erit etiam $C = c$, adeoque si quantitates aquarum eædem per æquales sectiones fluunt; celeritas media eadem est, consequenter sectiones æqueveloces sunt (§ 195).

COROLLARIUM 3.

217. Quodsi ponatur $C = c$; erit etiam $S = s$, adeoque si celeritas media eadem & quantitates aquarum eodem tempore per utramque sectionem fluentes æquales, consequenter si sectiones æqueveloces eodem tempore æquales aquarum quantitates fundunt (§. 195.); æquales sunt.

COROLLARIUM 4.

218. Quoniam $Q : q = SC : sc$ (§. 214); erit $qSC = Qsc$ (§. 297. *Arithm.*) & hinc $C : c = Qs : qS$ (§ 299 *Arithm.*), hoc est, celeritates mediæ sunt in ratione composita ex reciproca sectionum & directa quantitatum aquarum, quas eodem tempore fundunt.

THEOREMA 23.

219. *Si fluvius fuerit in statu manente, per omnes sectiones quomodocunque inæquales* AB, CD, EF, GH *aquæ eadem quantitas eodem tempore fluit.* Tab. VII. Fig. 78.

DEMONSTRATIO.

Ponamus enim per sectionem CD eodem tempore minorem quantitatem aquæ fluere quam per sectionem AB: inter sectiones AB & CD aquæ quantitas continuo major fieri debet, adeoque fluvius in alvei ABDC parte continuo intumescit (§. 199.): quod idem cum eodem modo pateat de sectione quacunque inferiore EF, GH &c. fluvius non erit in statu manente (§. 197.). Hoc cum sit contra hypothesin, aquæ per sectionem aliquam inferiorem minor quantitas fluere nequit, quam per superiorem quamcunque.

Ponamus ex adverso per sectionem CD aquæ majorem quantitatem eodem tempore fluere, quam per sectionem AB: inter sectiones AB & CD quantitas aquæ continuo minor fieri debet, adeoque fluvius in parte alvei ABCD continuo detumescit (§. 199.):

Digitized by Google

199.): quod idem cum eodem modo pateat de ſectione quacunque inferiore EF, GH &c. fluvius non erit in ſtatu manente (§. 197.) *contra hypotheſin.* Aquæ igitur per ſectionem aliquam inferiorem major quantitas fluere nequit, quam per ſuperiorem quamcunque.

Quoniam itaque per ſectionem inferiorem aliquam nec minor, nec major quantitas fluere poteſt, quam per ſuperiorem quamcunque; per omnes omnino ſectiones quomodocunque inæquales eodem tempore eadem fluere debet. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

220. Quoniam Sectiones AB, CD, EF, GH inæquales ſunt, eodem tamen tempore æquales aquæ quantitates per ſingulas fluunt; aqua per ſectiones minores celerius fluere debet, quam per majores.

COROLLARIUM 2.

221. Flumen igitur coarctando aquæ celeritas augetur, conſequenter cum declivitas fundi non mutetur *per hypoth.* aqua ibidem altius aſſurgere (§. 206.), adeoque fluvius intumeſcere debet (§. 199.).

COROLLARIUM 3.

222. Ex adverſo flumen dilatando aquæ celeritas imminuitur, conſequenter cum declivitas fundi non mutetur *per hypoth.* aquæ ibidem altitudo imminui (§. 206), adeoque fluvius detumeſcere debet (§ 199.).

COROLLARIUM 4.

223. Quoniam in quibuscunque fluvii ſectionibus æquali tempore æquales aquæ quantitates fluunt (§. 219.), ſectiones vero inæquales ſunt *per hypoth.* celeritates mediæ in duabus quibuscunque fluminis ſectionibus ſunt ut ſectiones reciproce (§. 215).

SCHOLION.

224. *Quæ corollariis tribus prioribus continentur, experientiæ conſona ſunt. Videmus enim aquam ibidem celerius fluere & profundiorem eſſe, ubi minor eſt fluvii latitudo; ibi autem fluere tardius & minus profundam deprehendi, ubi major ejus latitudo, niſi forſan ex accidente adſit quædam vorago. Uſu quoque in praxi receptum eſt, ut ad accelerandum motum fluminis alveus coarctetur.*

THEOREMA 24.

225. *Si fluvius intumeſcit, aqua fluens per quamlibet ſectionem dato quodam tempore eſt ad aquam, quæ ante intumeſcentiam ibidem fluxerat, in ratione compoſita ſectionis ac celeritatis mediæ auctæ ad ſectionem & celeritatem mediam priſtinam.*

DEMONSTRATIO.

Dum enim fluvius intumeſcit, aqua intra alveum fit altior, conſequenter non modo ſectio, verum

Digitized by Google

rum etiam celeritas media (§.199. 206.) augetur. Nova igitur sectio majorem quantitatem aquæ eodem tempore fundit quam pristina. Quoniam vero sectio major jam facta & pristina spectari possunt instar sectionum duorum fluminum, per quas aqua diversa celeritate fluit, cum fluvius intumescens a seipso differat, quemadmodum a fluvio altero profundiori, sed ejusdem declivitatis, quæ tamen hic attendenda non venit; aqua fluens per sectionem auctam celeritate media aucta erit ad aquam fluentem æquali tempore per sectionem pristinam celeritate pristina in ratione composita sectionis auctæ ad sectionem pristinam & celeritatis mediæ auctæ ad celeritatem mediam pristinam (§. 214.). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

226. Erit adeo augmentum aquæ fluentis ad aquam pristinam æquali tempore fluentem ut differentia factorum ex velocitatibus mediis in sectiones ad factum ex sectione pristina in celeritatem (§.193 *Arithm.*).

COROLLARIUM 2.

227. Quodsi sectio in eodem alvei naturalis loco ad parallelogrammum propius accedit, cum parallelogramma ejusdem basis altitudinum rationem habeant (§. 389. *Geom.*), augmentum aquæ fluentis post intumescentiam erit ad aquam fluentem ante eandem ut differentia factorum ex altitudine aquæ aucta in celeritatem mediam auctam & ex altitudine pristina in celeritatem pristinam ad factum posterius: id quod in alveo artificiali semper locum habet (§ 193.).

SCHOLION.

228. *Quando de altitudinibus sectionum vel aquæ in alveo fuerit sermo, per eam intelligitur ea perpendiculi a superficie aquæ in fundum demissi pars, per quam aqua continuo fluit, ita ut, si fluxus omnis protinus cessare ponatur, nulla aqua in defluentis locum succedente, nihil prorsus aquæ in ea remanere intelligatur. Etenim aquæ in cavitatibus fundi stagnantis nulla in influxu habenda ratio est, cum perinde sit ac si prorsus abesset fundo plano existente. Vulgo autores, qui de aquis currentibus scripsere, perpendiculum istud, per quod aqua fluit,* altitudinem vivam *vocare solent, quod sit altitudo aquæ vivæ: aqua enim currens ad differentiam stagnantis viva appellari solet* (§.10. Mech.).

THEOREMA 25.

229. *Si fuerit* AB *canalis declivis* & BC *altitudo sectionis continuetur, donec lineæ horizontali* AL *per initium ejus* A *ductæ, ubi superficies aquæ canalem secat, in* L *occurrat & circa axem* LB *describatur parabola quæcunque* LGH; *semiordinata* CG *exponet celeritatem aquæ in* C, BH *celeritatem fundo proximam & semiordinatæ intermediæ inter* CG & BH *cele-* Tab. VIII. Fig. 79.

celeritates quascunque in perpendiculari BC *inter* C *&* B *intermedias.*

DEMONSTRATIO.

Celeritates enim aquarum in C & B sunt in ratione subduplicata rectarum EC & FB (§. 204.). Et quoniam CE & BF perpendiculares ad AL *per hypoth.* erit CE ipsi BE parallela (§. 256. *Geom*). Quamobrem cum sit LC : LB = CE : BF (§. 268. *Geom.*); celeritas in C & B etiam in ratione subduplicata rectarum CL & LB existunt (§. 124. *Analys. fin.* & §. 176. *Arithm.*). Enimvero semiordinatæ parabolæ CG & BH sunt itidem in ratione subduplicata rectarum CL & BL (§. 402. *Analys. fin.*). Ergo etiam celeritates in C & B sunt ut semiordinatæ CG & BH (§. 156. *Arithm*), adeoque semiordinatæ CG & BH celeritates in C & B exponunt. Et quoniam de singulis semiordinatis intermediis idem eodem modo constat; semiordinatæ quoque intermediæ celeritates intermedias exponunt. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

230. Si ergo BC fuerit perpendiculum sectionis fluminis; spatium parabolicum CGHB est complexus omnium velocitatum istius sectionis.

COROLLARIUM 2.

231. Quoniam $CG^2 : BH^2 = CL : BL$ (§. 402. *Anal. fin.*) adeoque $BH^2 - CB^2 : BH^2 = BC : BL$ (§. 193. *Arithm.*); sint vero celeritates aquæ in B & C ut BH ad CG (§. 229) perpendiculari sectionis existente CB (§. 228.); datis celeritatum in C & B ratione ac altitudine sectionis BC, inveniri potest axis parabolæ BL.

COROLLARIUM 3.

232. Cum ducta IG ipsi BC parallela sit CG = BI (§. 2;8 *Geom.*), adeoque IH differentia semiordinatarum CG & BH, consequenter ut BC ad HI ita CG + BH ad parametrum (§. 404 *Anal. fin.*); datis CG & BH in eadem mensura, qua datur perpendiculum sectionis BC, in eadem quoque mensura reperietur parameter parabolæ mensurantis celeritates & amplitudo ejus erit definita.

PROBLEMA 52.

233. *Dato angulo inclinationis alvei seu canalis* ABD *una cum altitudine seu perpendiculo sectionis* BC *&* *celeritatum in* C *&* B *ratione, invenire distantiam fundi ab horizontali* AL *per initium alvei ducta atque distantiam* AF *ab initio alvei una cum hujus longitudine* BA. Tab. VIII. Fig. 79.

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Quoniam BK parallela ipsi AL *per*

Digitized by Google

per hypoth. angulus BAL angulo inclinationis ABD æqualis est (§ 233. *Geom.*). Et quoniam rectus ABL recto AFB æqualis: demto communi ABF; erit FBL angulo inclinationis ABD æqualis (§. 91. *Arithm.*). Dantur itaque in triangulo BFL præter rectum ad F anguli obliqui FBL & FLB, itemque in triangulo ABF præter rectum ad F obliqui BAF & FBA.

2. Ex datis CG & BH una cum BC inveniatur axis, seu altitudo parabolæ BL (§. 231.). Unde porro

3. Calculo trigonometrico definietur recta BA (§. 36. *Trigon.*) & hinc tandem

4. recta AF, atque FB (§. *cit. Trigon.*).

THEOREMA 26.

234. *Si semiordinatæ parabolæ mensurantis celeritates aquæ intra minutum secundum, seu tempus quodcunque datum per perpendiculum sectionis fluentis* CG *&* BH *sint æquales spatiis, quæ aqua per extrema perpendiculi sectionis* BC *fluens dato tempore describit, & in partibus hujus assignentur; spatium parabolicum* BCGH *definiet quantitatem aquæ per sectionis perpendiculum* BC *tempore isto fluentem.*

DEMONSTRATIO.

Concipiatur perpendiculum sectionis BC divisum in particulas infinite parvas, quæ designabunt aquæ particulas eodem tempore in perpendiculo BC constitutas. Quoniam vero semiordinatæ ad BC applicatæ sunt æquales spatiis intra tempus datum veluti minutum secundum descriptis ab iisdem particulis aquæ *per hypoth.* arcus parabolicus GH terminabit omnem aquam, quæ initio hujus temporis in BC constituebatur, consequenter spatium BCGH definit quantitatem aquæ per perpendiculum BC intervallo unius minuti secundi fluentis. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

235. Quoniam spatium parabolicum GCL $= \frac{2}{3}$ LC. CG & BLH $= \frac{2}{3}$ BL. BH (§. 104. *Anal. infin.*), BCGH vero illorum spatiorum differentia; si ex datis spatiis, quæ aqua per extrema perpendiculi sectionis fluens intra tempus datum describit, quæratur axis parabolæ (§. 231) quantitas aquæ intra tempus datum per perpendiculum fluens determinari potest.

COROLLARIUM 2.

236. Quoniam in sectione artificiali perpendicula omnia æqualia sunt (§. 193.); aqua

Digitized by Google

aqua fluens per totam sectionem reperitur, si quantitas fluentis per perpendiculum ducatur in latitudinem alvei Quamobrem cum hæc inveniri possit (§ 235.); etiam quantitas per totam sectionem artificialem fluens definiri potest.

DEFINITIO 15.

Tab. VIII. Fig. 79. 237. Velocitates aquæ transeuntis per extrema C & B perpendiculi sectionis dico brevitatis gratia *celeritates terminales*. Dantur autem celeritates terminales per spatia CG & BH, quæ intra tempus datum aqua fluens per B & C describit.

PROBLEMA 53.

238. *Datis celeritatibus terminalibus una cum perpendiculo sectionis invenire celeritatem mediam.*

RESOLUTIO.

1. Ex datis celeritatibus terminalibus & perpendiculo sectionis investigetur quantitas aquæ per perpendiculum istud tempore dato fluens (§. 235.).
2. Quantitas hæc inventa dividatur per perpendiculum sectionis: dico quotum definire celeritatem mediam in partibus perpendiculi sectionis. *Q. e. i.*

DEMONSTRATIO.

Etenim si ex datis celeritatibus terminalibus & perpendiculo sectionis investigetur quantitas aquæ dato tempore per perpendiculum istud BC fluentis spatium parabolicum BCGH prodit (§. 234.). Quoniam vero celeritate media eadem quantitas aquæ per BC fluit eodem tempore, quæ variabili fluit (§. 208.); & ob celeritatem eandem in singulis perpendiculi partibus, etiam infinite parvis (§ *cit.*), per parallelogrammum rectangulum exprimitur, cujus altitudo perpendiculum sectionis BC; area rectanguli, cujus altitudo BC, celeritas media basis, æquatur spatio parabolico BCGH. Quamobrem si area spatii hujus parabolici dividatur per perpendiculum sectionis BC; prodibit celeritas media quæsita (§. 375. *Geom.*). *Q. e. d.* Tab. VIII. Fig. 79.

PROBLEMA 54.

239. *Datis celeritatibus terminalibus* CG & BH *una cum sectionis perpendiculo* BC, *punctum* K *in eodem definire, per quod aqua celeritate media fluit.*

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Quæratur celeritas media (§. 238.) &
2. ex semiordinata Parabolæ velocita-

citates exhibentis BH, quæ maximam celeritatem repræsentat, resecetur recta BM eidem æqualis.

3. In M erigatur perpendicularis MO secans parabolam in O.

4. Denique ex puncto O demittatur perpendicularis ad axem parabolæ OK, quæ erit semiordinata puncto O respondens (§. 370. *Anal. fin.*), atque adeo BK est distantia puncti perpendiculi a fundo, in quo aqua celeritate media movetur.

5. Hæc porro calculo definitur inferendo (§. 404. *Anal. fin.*): ut parameter, quam ex datis reperire licet (§. 232.) ad aggregatum ex celeritate maxima BH & media KO ita harum celeritatum differentia MH ad distantiam quæsitam KB. Unde tandem

6. Invenitur profunditas KC puncti K.

PROBLEMA 55.

Tab. VIII. Fig. 79. 240. *Data longitudine canalis inclinati* AB *una cum angulo inclinationis* BAF *& perpendiculo sectionis* BC *invenire celeritates terminales, atque mediam una cum axe parabolæ celeritates mensurantis* BL *& verticis* L *ab initio canalis* A *distantia* AL.

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Ex data longitudine canalis inclinati AB & angulo inclinationis BAF invenitur in triangulo ABF distantia fundi ab horizontali BF & in triangulo ABL ad B rectangulo (§. 188.) distantia verticis parabolæ ab initio canalis AL, una cum axe parabolæ BL (§. 36. *Trigon.*).

2. Subducta altitudine sectionis BC ab axe parabolæ BL modo invento, relinquitur CL. Unde datis abscissis LC & LB reperitur semiordinatarum CG & BH ratio (§. 402. *Anal. fin.*); quæ cum celeritates terminales exprimant, tandem quoque

3. celeritatis mediæ ad illas ratio inveniri potest (§. 238.).

AXIOMA 1.

241. *Eadem vi uno eodemque momento duplex motus produci nequit.* Ponamus vim totam A impendi in accelerando motu corporis B, fieri non poterit, ut eodem tempore impendatur in accelerandum motum corporis C. Nempe si simul agat in B & C, pro parte una in B, pro altera autem in C agit. Alias effectus foret vi major: quod merito absurdum habetur.

SCHOLION.

242. *Veritas hujus axiomatis per experimenta hydrostatica confirmatur. Etenim*

Digitized by Google

enim corpus grave in fluido specifice leviori descendit excessu ponderis sui supra pondus fluidi mole æqualis (§. 88. Hydrost.), *quod vim gravitatis reliquam impendat in pressionem fluidi motui resistentis* (§. 114. Hydrost.) *experimentorum censensu. Vis igitur, qua fluidum subjectum premitur, non simul impenditur in descensum; nec vis, qua motus descendentis acceleratur, una impenditur ad premendum aquam subjectam.*

THEOREMA 27.

243. *Aquæ per canalem declivem ruentis celeritas non augetur ob pressionem, quam inferior a superiori sustinet.*

DEMONSTRATIO.

Ponamus celeritatem aquæ per canalem declivem ruentis augeri ob pressionem, quam inferior a superiori sustinet, ita ut inferior celerior moveatur, quam vi descensus per declive acquisivit (§. 284. *Mechan.*). Quoniam motus per declive descendentis acceleratur gravitate respectiva, pars vero reliqua in actionem in fundum impenditur declivem (§. 261. *Mech.*), aut vis illa, qua agitur in planum inclinatum, simul impendi debe ret ad descensum, aut vis, qua acceleratur motus descendentis simul impendenda esset pressioni aquæ subjectæ. Quicquid horum accidat, eadem vis eodem tempore in duplicem effectum impendi debet, seu duplex motus eadem vi eodem tempore producitur: id quod absurdum (§. 241.). *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

244. *Alii ita adstruunt veritatem propositionis præsentis. Si aqua in* B *omnem habet celeritatem, quam descensu per planum inclinatum* AB *acquisivit, ea est, quam cadendo perpendiculariter ab eodem termino* A *ad eandem horizontalem* DB, *nempe per altitudinem* AD *vel* BF *acquisivisset* (§. 303. Mech.). *Ponamus jam aquæ* B *motum quoque accelerari ob altitudinem incumbentis superioris: erit ergo major celeritas, quam perpendiculariter cadendo acquirere poterat. Sed hoc absurdum existimant, cum fluxus aquæ sit effectus gravitatis, quæ in descensum perpendicularem tota insumitur. Evidentia hujus demonstrationis pendet ab axiomate nostro. Tacite enim supponitur in descensu perpendiculari nullum esse effectum aquæ superioris in inferiorem, sed quamlibet aquæ guttam ita accelerari, ac si sola descenderet in medio non resistente. Id vero recte supponi, ex eo intelligitur, quod vis, quæ ad accelerandum motum guttæ superioris impenditur, non una impendi possit in pressionem, qua inferioris guttæ acceleratur motus: quemadmodum fit, ubi aqua superior vel quiescit, vel lente admodum descendit inferioris motu per foramen accelerato. Hic enim vis, quæ ad motum per pressionem accelerandum impenditur, non una consumitur in descensu prementis.* Tab. VIII. Fig. 79.

SCHO-

Digitized by Google

SCHOLION 2.

245. *Hinc & aqua in fundo fluminum tardius moveri deprehenditur, quam in superficie, propterea quod motus ob declivitatem plerumque non differat in superficie & in fundo; major vero cum ibidem sit resistentia, quam prope superficiem, magis quoque retardetur.*

SCHOLION. 3.

246. *Inprimis autem notandum est, quod* Mariottus (a) *annotavit, aquam in alveo naturali fluminis ob eam, quam patitur, resistentiam* (§. 207.) *brevi temporis spatio acquirere celeritatem non augendam, quamdiu eadem manet declivitas. Unde porro infert, si declivitas alvei imminuatur, celeritatem denuo successive, sed brevi temporis spatio imminui, ut per istam alvei partem lentius fluat aqua, quam per anteriorem. Et eodem modo intelligitur, quomodo in eodem alveo naturali motus fluminis accelerari possit, ut in sequente alvei parte aqua celerius fluat, quam in anteriore. Atque hinc porro intelligitur, cur in diversis alvei naturalis partibus diversa sit aquæ fluentis celeritas.*

SCHOLION 4.

247. *Nulla in hoc difficultas posita est, quod manente eadem declivitate fundi motus evadat celerior flumine coarctato, ut minor evadat ejus latitudo* (§. 221), *experientia suffragante* (§. 224.). *Etenim tum initium canalis ob altitudinem aquæ auctam, cui pars alvei naturalis respondet, e longinquiori intervallo petendum. Initium canalis inclinati* A *ibi statuitur, ubi planum inclinatum ejusdem* BA *concurrit cum superficie aquæ* AC, *quemadmodum ex demonstrationibus anterioribus intelligitur, ut determinari possit descensus perpendicularis* EG *aquæ in superficie. Etenim aqua in* C *dici nequit descendisse intervallo* EC, *nisi aliquo tempore fuerit in* A. *Sed idem mox ostendemus apertius* (§ 249.). Tab VIII. Fig. 79.

SCHOLION 5.

248. *Ceterum hinc intelligitur in motu fluminum plerumque assumi posse aquam per perpendiculum sectionis eadem celeritate moveri; non tamen assumere licet, quod per totam sectionem eadem celeritate moveatur, propterea quod juxta ripas motus ob majorem resistentiam tardior esse soleat, quam in medio. Quodsi istiusmodi canales inclinati, quales in theorematis antecedentibus supponimus, essent alvei naturales, eadem quoque ad hos alveos transferre liceret sine ulla immutatione.*

THEOREMA 28.

249. *Si in canale inclinato* AB *sectio* BC *obstruatur, ut aqua nonnisi per partem* BI *fluere possit, aqua intumescet & ad statum manentem reducta celerius fluet per sectionem* BI, *quam ante, initio canalis* G *ultra priorem* A *promoto.* Tab. VIII Fig. 80.

DE-

(a) Traité du Mouvement des Eaux part. 4. disc. 4. p. 436. Oper.

DEMONSTRATIO.

Etenim dum Sectio BC ex parte obstruitur, per partem residuam apertam BI pristina aquæ quantitas eadem celeritate fluere eodem tempore nequit, quo fluxerat per integram BC (§. 211.). Quoniam tamen aquæ eadem quantitas affluit, quæ ad sectionem BC nondum obstructam ferebatur; necesse est aliquid ejus continuo remanere, adeoque altitudinem fieri majorem, consequenter aqua intumescit (§. 199.). *Quod erat primum.*

Enimvero quando ad statum manentem reducitur, non amplius intumescit (§. 197.), adeoque per sectionem minorem BI eodem tempore eadem aquæ quantitas fluit, quæ ante fluxerat per totam BC. Necesse igitur est ut fluat celerius (§. 215.). *Quod erat secundum.*

Jam dum aquæ superficies AC attollitur in OG *vi num. 1.* evidens est, quod ea canalem BA non amplius in A, sed in G secet. Initium adeo canalis G ultra terminum pristinum A promovetur. *Quod erat tertium.*

COROLLARIUM. 1.

250. Quoniam ibi vertex parabolæ FBE, ubi sectionis perpendiculum BI productum horizontalem GF per initium canalis declivis AB secat, & semiordinatæ BE & IK exponentes celeritatem in punctis B & I majores sunt rectis BD & IL, quæ ante intumescentiam aquæ seu obstructionem sectionis easdem in iisdem punctis exponebant (§. 249.); parabola FKE metitur celeritates in perpendiculo IB & majoris amplitudinis est, quam altera HLD, quæ metitur velocitates in perpendiculo majoris sectionis BC.

COROLLARIUM 2.

251. Quodsi impedimentum, quo obstruitur sectio, fuerit minor CO, veluti IR; aqua ad O usque intumescere nequit, adeoque per KO supra impedimentum effluit.

COROLLARIUM 3.

252. Celeritas aucta aquæ per sectionem minorem fluentis BI in B ea est, quam cadendo per altitudinem BM acquirere poterat, & celeritas pristina in B ea erat, quam cadendo per altitudinem BN acquisivisset (§. 303. *Mech.*). Quare cum celeritates per BN & BM acquisitæ sint in ratione subduplicata rectarum BN & BM (§. 87. *Mech.*); erit celeritas aucta in B ad celeritatem pristinam ut radix rectæ BN ad radicem alterius BM.

THEOREMA 29.

235. *Aqua per sectionem canalis horizontalis eodem modo fluit, qua fluit ex vase pleno, cujus eadem, quæ sectionis, altitudo.*

DE-

DEMONSTRATIO.

Etenim in tubo horizontali, cum nulla ſit declivitas, aqua non fluit niſi quatenus ſuſtinet preſſionem inferior a ſuperiori. Ex vaſe aqua pleno per foramen ſimiliter fluit aqua vi preſſionis ejusdem: quod utrumque per ſe manifeſtum eſt. Quodſi ergo lumen vaſis ſit ſectioni canalis æquale ac ſimile; & altitudo fluidi utrobique eadem eſt, cum motus totus pendeat ab altitudine fluidi prementis, nulla adeſt diverſitatis ratio. Quamobrem aqua per ſectionem canalis horizontalis eodem modo fluere debet, quo fluit ex vaſe pleno, cujus eadem, quæ ſectionis altitudo. *Q. e. d.*

SCHOLION 1.

254 *Sane ſi canalem horizontalem tegas quodam operimento, convenit is cum vaſe pleno, cujus eadem quæ ſectionis altitudo. Ecquis vero non videt operimentum nihil facere ad motum aquæ, cum eadem maneat fluidi altitudo, quæ ante, conſequenter preſſio ab eadem pendens nullo modo varietur.*

COROLLARIUM 1.

Tab. VIII. Fig. 81. 255. In ſectionis adeo perpendiculo BC canalis horizontalis AB quodlibet punctum, D, E, vel B eandem celeritatem habet, quam acquireret per altitudinem aquæ incumbentis, nimirum aqua in B habet celeritatem, quam acquiſiviſſet cadendo per altitudinem BC; aqua in E celeritatem habet, quam cadendo per altitudinem EC acquiſiviſſet, & ſimiliter aqua in D celeritatem habet, quæ cadendo per altitudinem CD acquiritur.

COROLLARIUM 2.

256. Erunt igitur celeritatum in B, E & D quadrata ut rectæ BC, EC, DC (§. 86. *Mechan.*), ſeu celeritates ipſæ in ratione ſubduplicata earundem rectarum BC, EC, DC (§. 87. *Mechan.*).

COROLLARIUM 3.

257. Quare ſi circa altitudinem ſectionis BC deſcribatur parabola CFGH, exponent ſemiordinatæ BH, EG, & DF celeritates aquæ per perpendiculum BC fluentis in punctis B, E, D, C (§ *præc.* & § 402. *Anal. fin.*).

COROLLARIUM 4.

258 Quodſi ergo celeritas BH in partibus perpendiculi ſectionis BC determinetur; ſpatium parabolicum BCH quantitatem aquæ exhibet, quæ eodem tempore per ſectionem fluit, quo aqua per B fluens deſcribit ſpatium BH; id quod eodem modo patet, quo ſupra idem in canale inclinato evicimus (§. 234).

COROLLARIUM 5.

259. Quantitas igitur aquæ fluentis per perpendiculum BC eo tempore, quo aqua per B fluens ex B in H progreditur, eſt æqualis rectangulo ex BH in duas tertias partes altitudinis ſectionis BC vel ex BC in $\frac{2}{3}$ BH (§. 104. *Anal. infin.*), conſequenter

Digitized by Google

in ratione composita ex ratione celeritatis maximæ & duarum altitudinis partium.

SCHOLION 2.

260. *Hinc jam porro eodem, quo supra, modo determinantur alia fluxum aquæ in canali horizontali concernentia.*

SCHOLION 3.

261. *Resistentias, quas patitur cursus fluminis, cum ab obstaculis accidentalibus pendeant, ad regulam quandam generalem revocare minime licuit.*

SCHOLION 4.

262. *Ceterum quæ de motu aquarum per canales horizontales dicta sunt ad fluxum quoque aquarum per lumina vasorum lateribus insculpta applicari possunt atque solent* (§. 48.).

THEOREMA 30.

263. *Si aqua per canalem horizontalem fluit, celeritas media est ad maximam ut 2. ad 3.*

DEMONSTRATIO.

Tab. VIII. Fig. 81. Aquæ enim quantitas est ut $\frac{2}{3}$ BH. BC (§. 259.). Quare cum rectangulum BCMI exprimat quantitatem aquæ per sectionis perpendiculum fluentis, si BI $= \frac{2}{3}$ BH (§. 375 *Geom.*); eadem adhuc aquæ quantitas per idem fluere debet, si per singula puncta eadem celeritate BI moveatur. Est igitur BI celeritas media (§. 208.). Enimvero BI $= \frac{2}{3}$ BH *per demonstrata.* Ergo BI : BH $\frac{2}{3} : 1 = 2 : 3$ (§. 178. *Arithm.*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

264. Quoniam aucta altitudine sectionis BC, augetur celeritas maxima BH (§. 256.); aucta altitudine sectionis augetur quoque celeritas media (§ 263.).

COROLLARIUM 2.

265. Similiter quia imminuta altitudine sectionis BC, imminuitur celeritas maxima BH (§. 256); imminuta altitudine sectionis imminuitur celeritas media (§. 263.).

COROLLARIUM 3.

266. Si ex semiordinata maxima parabolæ celeritates aquæ per sectionem canalis horizontalis fluentis BH resecetur BI $= \frac{2}{3}$ BH & super BI construatur rectangulum CBIM, cujus latus IM parabolam in K secat; demisso ex K in altitudinem BC perpendiculari KL; erit in L locus celeritatis mediæ.

COROLLARIUM 4.

267. Quodsi jam porro inferatur, ut quadratum spatii BH, quod aqua celeritate maxima fluens, dato tempore emetitur, ad quadratum spatii KL, quod celeritate media describit eodem tempore, ita altitudo sectionis BC ad numerum quartum proportionalem; exprimet is profunditatem CL puncti L, per quod aqua celeritate media fluit, infra superficiem aquæ LC (§. 402 *Anal. fin.*).

SCHO-

Digitized by Google

SCHOLION.

268. *Punctum istud a nonnullis* Centrum velocitatis *appellari solet, quia velocitas ipsi conveniens in locum omnium velocitatum inaequalium assumi potest.*

CAPUT VII.

DE PERCUSSIONE FLUIDORUM.

DEFINITIO 16.

269. *Percussio fluidi* est actio, qua fluidum aliquod in aliud corpus sive fluidum, sive solidum impingens in idem agit. Quando directe, quando indirecte impingat, dictum est alias (§. 523. 526. *Mechan.*).

COROLLARIUM 1.

270. Quoniam percussio dato aliquo tempore absolvitur, fluida vero impingentia in continuo motu sunt; tota illa quantitas impingit, adeoque corpus percutit (§. 269.), quae tempore isto affluit, ac ideo percussio fluidorum successiva est.

SCHOLION.

271. *Fluida nempe consideranda veniunt instar multitudinis globulorum, quorum diversae series sibi mutuo succedentes in corpus, quod percutitur, impingunt. Ut adeo appareat pro diversa densitate variari globulorum simul incurrentium, pro diversa celeritate serierum sibi invicem succedentium numerum.*

COROLLARIUM 2.

272. Quoniam plus massae simul impingit, si fluidum fuerit densius, quam si fuerit rarius, plus autem massae in densiore sub eodem volumine contineatur, quam in rariori (§. 8. 10 *Hydrost.*); in percussione fluidorum habenda est ratio densitatis fluidi, seu ceteris paribus major fit percussio a fluido densiori, quam a rariori.

COROLLARIUM 3.

273. Quoniam dato tempore, quo percussio successiva absolvitur, plus massae in corpus percussum incurrit, si fluidum aliquod celerius, quam si tardius moveatur; in determinanda massa percutientis non solum densitatis (§. 272.), verum etiam celeritatis ratio habenda, seu densitate existente eadem major est massa percutientis, si fluidum celerius moveatur, quam si tardius; massae scilicet in ratione celeritatum sunt.

Digitized by Google

COROLLARIUM 4.

274. Quoniam vis, qua fluidum in aliud corpus incurrens idem urget, e genere mortuarum est, utpote cujus actio nonnisi in nisu quodam sese exerente consistit (§. 9. *Mechan.*), istiusmodi autem vires massa existente eadem in ratione celeritatum sunt (§. 250.), in moleculis quoque simul incurrentibus major est vis percutiendi, si fluidum aliquod celerius movetur, quam si movetur tardius.

SCHOLION

275. *Patet adeo celeritatem fluidi bis spectandam esse in percussione: nimirum primo in determinanda massæ multitudine, quæ agit in corpus percussum, & secundo in determinando gradu, quem vis a motu habet.*

DEFINITIO 17.

276. Si fluida in duo plana vel directe, vel sub eodem angulo obliquo incurrunt; *eodem modo incurrere* dicuntur.

SCHOLION.

277. *Non tamen ideo eodem quoque modo plana percutiunt, quia in percussione spectatur potissimum vis percutientis, quæ non modo a directione impingentis, verum etiam a massa & celeritate pendet.*

AXIOMA 2.

278. *Si idem fluidum eadem celeritate eodem modo in plana æqualia incurrit, eadem vi eadem percutit.* Nulla enim adest diversitatis ratio.

SCHOLION

279. *Vis percutientis pendet a celeritate, massa & directione percutientis, nec non a plani percussi magnitudine. In hypothesi adeo axiomatis omnia eadem præsupponuntur, a quibus quantitas vis pendet, qua fit percussio. Ex generalibus adeo principiis metaphysicis* (§ 193 Ontol.) *constat, vim percutiendi hoc in casu differre minime posse.*

THEOREMA 31.

280. *Si idem fluidum eadem celeritate latum in plana inæqualia eodem modo incurrit, vires, quibus percutiuntur, sunt in ratione planorum.*

DEMONSTRATIO.

Ponamus planum A esse duplum plani B: erit adeo pars dimidia illius huic toti æqualis (§. 142. *Arithm*) sive $B = \frac{1}{2} A$. Quoniam itaque B & $\frac{1}{2}$ A eadem vi percutiuntur (§. 278.), atque eadem adeo vi utraque pars ipsius A percuti debet (§ 87. *Arithm.*); planum duplum A vi dupla percutitur, B vero simpla, hoc est, vires percutientes sunt in ratione dupla, consequenter in ratione planorum percussorum A & B. Idem cum eodem modo ostendatur, in quacunque alia planorum ratione; patet in

in genere esse vires, quibus plana percutiuntur ab eodem fluido eodem modo & celeritate eadem incurrente, in ratione planorum percussorum. *Q. e. d.*

THEOREMA 32.

281. *Si idem fluidum diversa celeritate, sed eodem modo in plana æqualia incurrit; vires, quibus percutiuntur, sunt in ratione duplicata celeritatum.*

DEMONSTRATIO.

Sint duo plana æqualia A & B, ac in A incurrat aqua dupla celeritate ejus, qua in B incurrit; in A & B autem directe, vel oblique sub eodem angulo incurrat. Dico vires, quibus percutiuntur plana A & B, esse ut quadrata celeritatum, seu vim, qua percutitur planum A esse quadruplo majorem ea, qua percutitur planum B. Quoniam enim fluidum diversa celeritate in plana A & B incurrit *per hypoth.* massa percutientis planum A est ad massam percutientis planum B ut celeritas, qua movetur fluidum in planum A incurrens ad celeritatem, qua movetur quod fertur in B (§. 273.). Quamobrem fluida percutientia spectari possunt tanquam corpora inæqualis massæ. Enimvero si massæ inæquales sunt, vires sunt in ratione composita massarum & celeritatum (§. 523. *Mechan.*), adeoque in casu præsente, ubi massæ sunt ut celeritates *per demonstrata*, in ratione duplicata celeritatum, vel uti in casu speciali vis, qua percutitur A quadruplo major est ea, qua percutitur planum B (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 33.

282. *Si fluidum idem diversa celeritate in plana inæqualia eodem modo incurrit, vires, quibus percutiuntur, sunt in ratione composita ex simplici planorum & duplicata celeritatum.*

DEMONSTRATIO.

Incurrat fluidum quodcunque in plana quæcunque A & B celeritatibus quibuscunque C & c, dicanturque vires V & v. Incurrat idem fluidum in planum B celeritate C, dicaturque vis percutiens f. Quoniam fluidum in A & B eadem celeritate C incurrit; erit $V:f = A:B$ (§. 280.). Et si idem fluidum in planum B diversa celeritate C & c incurrit; erit in diversis istis percussionibus $f:v = C^2:c^2$ (§. 281.). Habemus adeo $fV:fv = A.\,C^2:B.\,c^2$ (§. 213. *Arithm.*), consequenter $V:v = A.\,C^2:B.\,c^2$ (§. 181. *Arithm.*), hoc est,

Digitized by

vires percutientes sunt in ratione composita ex simplici planorum A & B, atque duplicata celeritatum C^2 & c^2. *Q. e. d.*

THEOREMA 34.

283. *Si fluida diversæ densitatis eadem celeritate in plana inæqualia eodem modo incurrant; vires percutientes sunt in ratione composita densitatum fluidorum atque planorum.*

DEMONSTRATIO.

Incurrant duo fluida viversæ densitatis D & *d* in plana quæcunque A & B eadem celeritate dicanturque vires percutientes f & v: erit $f:v = D:d$ (§. 272.). Incurrat jam fluidum densitatis D in planum aliud A, quod alteri B inæquale sit, dicaturque vis percutiens V: erit $V:f = A:B$ (§. 280.). Erit itaque $fV:fv = A.D:B.d$ (§. 213. *Arithm*), consequenter $V:v = A.D:B.d$ (§. 181. *Arithm.*), hoc est, vires percutientes sunt in ratione composita planorum A & B atque densitatum fluidorum D. & *d*. *Q. e. d.*

THEOREMA 35.

284. *Si fluida diversæ densitatis diversa celeritate, sed eodem modo in plana inæqualia incurrant; vires percutientes sunt in ratione composita ex rationibus planorum percussorum & densitatum fluidorum simplicibus atque duplicata celeritatum.*

DEMONSTRATIO.

Sint duo plana æqualia B & B, in quæ incurrat fluidum idem seu ejusdem densitatis *d* diversis celeritatibus C & *c*, dicanturque viret f & v: erit $f:v = C^2:c^2$ (§. 281.). Incurrant jam fluida diversæ densitatis D & *d* eadem celeritate *c* in plana inæqualia A & B, dicanturque vires percutientes V & f; erit $V:f = A.D:B.d$ (§. 283.). Habemus itaque $fV:fv = A.D.C^2:B.d.c^2$ (§ 213. *Arithm.*), consequenter $V:v = A.D.C^2:B.d.c^2$ (§. 181. *Arithm.*), hoc est, vires percutientes fluidorum diversi densitatis in plana utcunque inæqualia celeritatibus quibuscunque incurrentium sunt in ratione composita ex simplicibus planorum A & B, densitatum fluidorum D & *d* atque duplicata celeritatum C^2 & c^2. *Q. e. d.*

SCHOLION.

285. *Habemus adeo mensuram virium directe planum aliquod percutientium: etenim si indirecte impingit fluidum aliquod in planum, tum variatio non una de causa*

Digitized by Google

sa accidit, etsi theoremata in comparandis viribus sub eodem angulo impingentibus locum habeant.

THEOREMA 36.

Tab. VIII. Fig. 82. 286. *Si aqua per declive* AD *delapsa directe incurrit in palmulam rotæ circa centrum* C *convertibilis; erit vis percutiens ut palmula ducta in radium* EC, *densitatem aquæ & altitudinem lapsus* AB.

DEMONSTRATIO.

Etenim aquæ in palmulam irruentis vis percutiens absoluta est ut factum ex magnitudine palmulæ in densitatem aquæ & quadratum celeritatis, qua fluit (§ 284.). Sed celeritas aquæ per declive AD delapsæ est in ratione subduplicata altitudinis lapsus AB (§. 204), adeoque quadratum ejusdem ut ipsa hæc altitudo. Quare vis percutiens absoluta erit ut factum ex magnitudine pulmulæ in densitatem aquæ & in altitudinem lapsus AB. Enimvero quia palmula circa centrum C convertibilis *per hypoth.* illa jam consideranda venit tanquam potentia ad axem in peritrochio applicata, cujus centrum motus in C, atque tum vis respectiva erit ut absoluta ducta in radium (§. 792. 153. *Mechan.*). Est igitur vis palmulam percutiens ut palmula ducta in densitatem aquæ, altitudinem lapsus AB & radium rotæ EC. *Q. e. d.*

SCHOLION.

287. *Atque hinc patet modus ad mensuram revocandi vires percutientes aquarum rotas molares agitantium easque inter se conferendi: quod ut evidentius pateat, sequentia adjicere lubet corollaria.*

COROLLARIUM 1.

288 Sint radii rotarum R & *r*, palmulæ P & *p*, altitudines lapsus A & *a*; cum densitatis, quæ eadem hic supponitur, in comparandis viribus percutientibus non habenda sit ratio (§. 181. *Arithm.*); erunt vires percutientes V & *v* ut R. P. A : *r. p. a* (§. 186.).

COROLLARIUM 2.

289. Quodsi ponamus palmulas rotarum esse æquales, erit P = *p*, adeoque V : *v* = R. A : *r. a* (§. 181. *Arithm.*), hoc est, vires percutientes æquales palmulas rotarum inæqualium sunt in ratione composita radiorum rotarum & altitudinum lapsus.

COROLLARIUM 3.

290 Quodsi ulterius fuerit R = *r*, hoc est, si rotæ fuerint æquales: erit V : *v* = A : *a* (§. 181 *Arithm.*), hoc est, vires aquarum rotas molares æquales percutientium sunt in ratione altitudinum lapsus.

CO-

Digitized by Google

COROLLARIUM 4.

291. Si fuerit $R = r$, hoc est, si altitudines rotarum fuerint æquales, palmulæ vero inæquales; erit $V : v = P. A : p. a$, hoc est, vires, quibus palmulæ percutiuntur, sunt in ratione composita palmularum & altitudinum lapsus.

COROLLARIUM 5.

292. Quodsi fuerit $A = a$, hoc est, si aqua per æquales declivitates feratur in rotas inæquales; erit $V : v = R. P : r. p$, hoc est, vires percutientes sunt in ratione composita palmularum & radiorum rotarum.

COROLLARIUM 6.

293. Quodsi præterea $R = r$; erit $V : v = P : p$, hoc est, si rotæ fuerint æque altæ & aqua per eandem declivitatem in palmulas irruat; vires percutientes sunt in ratione palmularum.

COROLLARIUM 7.

294. Si vero fuerit præter $A = a$ etiam $P = p$; erit $V : v = R : r$, hoc est, si aqua per eandem declivitatem irruit in rotas, quæ palmulas æquales habent; erunt vires percutientes in ratione radiorum rotarum.

COROLLARIUM 8.

295. Si ponatur $V = v$, erit etiam $R. P. A = R. p. a$ (§. 288.), adeoque $A : a = r. p : R. P$ (§. 299. *Arithm.*), hoc est, si altitudines lapsus aquarum in rotas irruentium fuerint in ratione composita reciproca palmularum & radiorum seu altitudinum rotarum; vires percutientes æquales sunt & contra.

COROLLARIUM 9.

296. Quodsi præterea fuerit $r = R$; erit: $A : a = p : P$ (§. 181. *Arithm.*), hoc est, si aqua incidit in rotas æque altas per declivitates, quarum altitudines rationem palmularum reciprocam habent; vires percutientes æquales sunt, & contra si rotæ æqualis altitudinis æqualiter percuti debent ab aquis directe inpingentibus, aquæ delabi debent per altitudines palmulis reciproce proportionales.

COROLLARIUM 10.

297. Si vero fuerit $P = p$; erit $A : a = r : R$, hoc est, si aqua directe impingens in palmulas æquales rotarum inæqualis altitudinis labatur per altitudines radiis rotarum reciproce proportinales; æquali vi percutiuntur, & contra si rotæ palmulas æquales habentes ab aqua æquali vi percuti debent, aquæ delabi debent per altitudines radiis reciproce proportionales.

COROLLARIUM 11.

298. Si denique fuerit $A = a$; erit $r. p = R. P$ (§. 295.), adeoque $R : r = p : P$ (§. 299 *Arithm.*), hoc est, aqua per eandem declivitatem delapsa æquali vi percutit palmulas rotarum, quæ sunt in ratione reciprca radiorum seu altitudinum earundem.

COROLLARIUM 12.

299. Cum palmulæ figuram parallelogrammi habeant, adeoque si ejusdem fuerint latitudinis, longitudinis rationem habeant (§. 389 *Geom.*); in eodem alveo declivi rotæ molares eadem vi agitantur, seu duæ rotæ sibi mutuo æquipollent, si habeant longitudines palmularum radiis rotarum reciproce proportionales.

SCHOLION.

300. *Hinc videmus in fluminibus admo-*

Digitized by Google

modum latis construi rotas molares, quæ exiguæ sunt altitudinis, sed magnæ longitudinis, latitudine defectum altitudinis compensante.

THEOREMA 37.

301. *Si plana per fluida diversæ densitatis celeritatibus quibuscunque ferantur; resistentiæ, quas experiuntur, sunt in ratione composita ex rationibus planorum & densitatum fluidorum simpla & celeritatum duplicata.*

DEMONSTRATIO.

Etenim fluidum quiescens eadem vi resistit plano per ipsum lato, qua impingeret in idem planum, si ipsum quiesceret & fluidum moveretur ea celeritate, qua planum fertur, eadem in utroque casu supposita directione: id quod per se manifestum assumitur. Jam vero vires, quibus plana percutiuntur quiescentia a fluidis directe impingentibus, sunt in ratione composita densitatum & planorum simpla atque celeritatum duplicata (§. 284.). Ergo etiam vires, quibus fluida directe resistunt planis per ea latis, sunt in ratione composita densitatum fluidorum ac ipsorummet planorum simpla & celeritatum, quibus per eadem feruntur, duplicata. *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

302. Quodsi ergo plana ferantur per idem fluidum, veluti per aquam, densitate existente eadem, vires, quibus ipsis resistitur, sunt in ratione simplici planorum & duplicata celeritatum, quibus ea per fluidum feruntur (§. 181. *Arithm.*).

COROLLARIUM 2.

303. Quodsi porro plana fuerint æqualia; resistentiæ, quas patiuntur, erunt ut quadrata celeritatum.

COROLLARIUM 3.

304. Si vero celeritates fuerint æquales, vires, quibus planis resistitur, erunt in ratione planorum.

DEFINITIO 18.

305. *Celeritatem absolutam* appellamus, qua fluidum fertur & directe impingit in planum; *Respectivam* vero, qua fluidum impingit in planum indirecte.

SCHOLION.

306. *Ponamus fluidum ferri celeritate* Tab.
ut AC, *sed oblique incurrere in planum* AB VIII.
sub angulo incidentiæ BAC; *celeritas illa* Fig.
respectiva dicitur, quæ in impactu directo 83.
æquipollente eidem substituenda venit.

THEOREMA 38.

307. *Si fluidum indirecte impingit in rectam* AB *juxta lineas parallelas* AC & BD; *celeritas absoluta est ad respectivam ut sinus totus ad sinum anguli incidentiæ.*

DEMONSTRATIO.

Exponat recta AC celeritatem abso-

Digitized by Google

absolutam & ex C demittatur perpendicularis CF; celeritas per AC resolvitur in laterales CF & AF eidem simul æquipollentes (§ 245. *Mechan.*). Quoniam vero fluidum oblique impingens in AB in rectam hanc non agit secundum directionem AF, sed tantummodo secundum perpendicularem CF, juxta quam fluidi motui resistit; evidens est celeritatem respectivam exprimi per rectam CF (§. 305.). Quodsi AC sumatur pro sinu toto, erit CF sinus anguli incidentiæ CAF (§. 2. *Trigon.*). Quare cum sit celeritas absoluta ad respectivam ut AC ad CF *per demonstrata*; erit illa quoque ad hanc ut sinus totus ad sinum anguli incidentiæ (§. 167. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 39.

Tab. VIII. Fig. 83. 308. *Si fluidum indirecte impingit in rectam* AB *juxta lineas parallelas* CA *&* BD; *massa ejus, qua percussio indirecta fit, est ad massam, qua eadem linea directe ab eodem fluido eadem celeritate lato percuteretur, ut sinus anguli incidentiæ ad sinum totum.*

DEMONSTRATIO.

Ducatur BE ad AC perpendicularis: evidens est eodem tempore non majorem fluidi quantitatem deferri ad rectam AB, quam ad rectam BE, consequenter si BD exponat celeritatem fluidi, qua fertur, veluti spatium, quod decurrit fluidum isto tempusculo, quo absolvitur percussio; erit quantitas seu massa fluidi, quæ defertur ad AB juxta directiones obliquas ad massam, quæ ad eandem juxta directionem perpendicularem affluereret, ut BE. BD ad AB. BD, consequenter ut BE & AB (§ 181. *Arithm.*). Jam si AB sumatur pro sinu toto, erit BE sinus anguli incidentiæ EAB (§. 2. *Trigon.*). Est igitur BE ad AB, consequenter massa fluidi, qua percussio indirecta fit, ad massam, qua eadem linea AB ab eodem fluido directe percuteretur, ut sinus anguli incidentiæ ad sinum totum (§. 167. *Aritm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 40.

309. *Si fluidum aliquod in rectam* AB *indirecte impingit, vis, qua indirecte percutitur, est ad eam, qua eadem recta* AB *ab eodem fluido* CABD *juxta directiones parallelas* AC *&* BD *affluente percuteretur, in ratione duplicata sinus anguli incidentiæ ad sinum totum.* Tab. VIII. Fig. 83.

DEMONSTRATIO.

Etenim vires, quibus recta AB directe vel indirecte percutitur, sunt in ratione composita massarum & celeritatum (§. 278. *Mech.*), scilicet vis directa est ad indirectam ut

Digitized by Google

ut massa, quæ in percussione directa ad rectam AB defertur, ad massam, quæ ad eandem in indirecta affluit, & ut celeritas absoluta ad respectivam. Enim vero & massa in percussione directa est ad massam in indirecta & celeritas absoluta ad respectivam ut sinus totus ad sinum anguli incidentiæ (§. 307. 308.). Est igitur vis percutiens directa ad indirectam in ratione duplicata sinus totius ad sinum anguli incidentiæ (§. 159. *Arithm.*). *Q. e. d.*

THEOREMA 41.

Tab. VIII. Fig. 83. 310. *Si fluidum oblique impingat in rectam* AB *juxta directiones parallelas* AC *&* BD *in ipsam delatum & ex* B *demittatur perpendicularis* BE *in* AC, *ex* E *vero denuo demittatur* EG *ad* AB *perpendicularis; vis, qua fluidum urget directe rectam* AB *est ad vim, qua eam urget indirecte, ut tota* AB *ad segmentum ejus* BG.

DEMONSTRATIO.

Est enim AB : BE = BE : BG (§. 330. *Geom.*) & AB ad BE ut sinus totus ad sinum anguli incidentiæ BAC (§. 2. *Trigon.*) consequenter BG est tertia proportionalis ad sinum totum & sinum anguli incidentiæ. Habet igitur AB ad BG rationem duplicatam sinus totius ad sinum anguli incidentiæ (§. 216. *Arithm.*). Quare cum sit vis, qua percutitur recta AB directe, ad eam, qua indirecte percutitur, in ratione duplicata sinus totius ad sinum anguli incidentiæ (§. 309.); erit etiam illa ad hanc ut tota recta AB ad segmentum ejus GB (§. 167. *Arithm*). *Q. e. d.*

COROLLARIUM 1.

311. Quoniam GB > AB (§ 84 *Arithm.*); vis quoque, qua recta AB a fluido directe percutitur, est ea, qua indirecte percutitur, major.

COROLLARIUM 2.

312. Quodsi angulus incidenciæ fuerit IAB, rectæ AB segmentum vi indirectæ respondens erit BK (§. 210.). Quare cum sit sub angulo incidentiæ CAB vis directa ad indirectam ut AB ad GB & sub angulo incidentiæ minore HAB ut AB ad KB (§ *cit.*); vis directa ad indirectam sub angulo incidentiæ majore minorem rationem habet quam sub minore (§. 205. *Arithm.*), consequenter vis indirecta sub angulo incidentiæ minore minor est, quam sub majore (§. 206. *Arithm*): unde decrescente angulo incidentiæ etiam vis percussionis decrescit, atque directione AC coincidente cum AB, hoc est, si fluidum juxta directionem AB movetur, percussio nulla est.

COROLLARIUM 3.

313. Quoniam vis directa sub angulo incidentiæ CAB est ad indirectam ut AB ad GB, sub angulo vero incidentiæ HAB ut AB ad KB (§ 310.); vires indirectæ sub diversis angulis incidentiæ eandem

rectum AB percutientes sunt inter se ut rectæ GB & KB (§. 196 *Arithm.*).

COROLLARIUM 4.

314. Quodsi fluidum feratur celeritate V, vis directa, qua percutitur recta AB, exponitur per $V^2 . AB$ (§. 282.). Quare cum sit vis directa ad indirectam ut AB ad GB, angulo incidentiæ existente CAB (§. 309.); reperietur vis indirecta $\frac{V^2 . AB . GB}{AB} = V^2 . GB$, adeoque vis in directa exponitur per $V^2 . GB$ angulo incidentiæ existente CAB.

PROBLEMA 56.

Tab. VIII. Fig. 84. 315. *Determinare vim, quam ventus indirecte impingens in alas molendini exerit ad eas convertendas.*

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

Repræsentet recta IO axem atque planum ADCB alam, in quam ventus secundum directiones obliquas KA & HB agit. Ala axem, cui perpendiculariter insistit, secet ad angulum obliquum AEI (§. 929. *Mechan.*). Quoniam itaque ventus secundum directionem obliquam IE in planum AC circa axem IE convertendum agit *per hypoth.* ideo investigada est vis, quam ventus ad planum ADCB circa axem IE convertendum adhibet dato angulo obliquitatis ACI, magnitudine alæ ADCB, ejus latitudine AB & celeritate, qua aër movetur.

1. Ducatur AG ad HB perpendicularis: cum aër secundum directiones parallelas KA & HB ad AB deferatur ad rectam AB, non plus aëris ferit planum obliquum ad axem ADCB, cujus latitudo AB, quam planum æque altum axem ad angulos rectos secans, cujus latitudo AG. Exponit igitur recta AG quantitatem aëris planum simul ferientis. Jam porro exponat EL celeritatem, qua movetur aër, cujus densitas sit $= d$; erit massa aëris, qua percussio absolvitur in puncto E, ut AG ducta in densitatem ac porro in LE.

2. Demittatur ex L recta LM ad AB perpendicularis: evidens est perpendicularem LM exponere celeritatem respectivam, qua ventus in planum secundum directionem obliquam in E incurrens agit (§. 245. *Mech.*).

3. Quoniam vero ventus planum ADBC movere nequit nisi circa axem IO, circa quem convertendum; non omnem vim, quam habet a celeritate respectiva

ctiva LM, in actionem suam impendit. Demittatur ergo perpendicularis MN ex puncto M in axem OI; evidens est celeritatem LM resolvi in duas alias LN & MN & eam, quæ est secundum directionem MN tantummodo proficere ad axem convertendum.

4. Denique cum in P sit centrum gravitatis (§. 141. *Mechan.*), adeoque massæ totius plani ADCB; patet vim, quam ventus adhibet ad planum ADCB circa axem IO convertendum, concipi posse tanquam applicatam ad punctum P & PE tanquam radium axis in peritrochio, cujus centrum E. Unde liquet vim, quam adhibet ventus, exprimi per *d.* AG. LE. MN. EP (§. 153. *Mech.*). *Q. e. i.*

PROBLEMA 57.

316. *Determinare situm alarum molendini vi venti indirecte impingentis agitati, in quo ventus vim maximam adhibet ad eas convertendas, seu eas maxima celeritate convertit.*

RESOLUTIO.

1. Sunt omnia ut in problemate præcedente, dicaturque AB $= a$, LE $= b$, EP $= c$, densitas aëris $= m$, GB $= x$; erit ob AE $=$ EB $= \frac{1}{2} a$ *per hypoth.* & IE rectæ HB parallelam EO $= \frac{1}{2}$ GB $= \frac{1}{2} x$ (§. 268. *Geom.*), & AG $= \sqrt{(a^2 - x^2)}$ (§. 417. *Geom.*).

2. Quoniam in △△ AGB & LME anguli ad G & M recti *per constr.* & MEL $=$ ABG (§. 255. *Geom.*); erit (§. 267. *Geom.*)

$$AB : AG = LE : LM$$

$$a : \sqrt{(a^2 - x^2)} = b : \frac{b\sqrt{(a^2 - x^2)}}{a}$$

3. Similiter quia in △△ AEO & LMN anguli ad O & N recti *per constr.* & ob rectum LME *per constr.* & obliquum L △△ LMN & LME communem angulus LMN $=$ AEO (§. 246. *Geom.*); erit (§. 267. *Geom.*).

$$AE : EO = LM : MN$$

$$\tfrac{1}{2} a : \tfrac{1}{2} x = \frac{b\sqrt{}}{a} (a^2 - x^2) : \frac{bx\sqrt{(a^2 - x^2)}}{a^2}$$

4. Quoniam vis, quam ventus adhibet an planum ADCB circa axem IO convertendum, est ut *m.* AG. LE. MN. EP (§. 315.); erit ea $= bm\sqrt{(a^2 - x^2)}\, \frac{bcx\sqrt{(a^2 - x^2)}}{a^2} = b^2cmx - \frac{b^2cmx^3}{a^2}$

 5. Ha-

5. Habemus itaque (§. 63. *Anal. infin.*)

$$b^2cmdx - \frac{3b^2cmx^2dx}{a^2} = 0$$

$$1 - \frac{3x^2}{a^2} = 0$$

$$a^2 = 3x^2$$

$$\sqrt{\tfrac{1}{3}a^2} = x$$

6. Quadsi jam a sumatur pro sinu toto, erit $\sqrt{\tfrac{1}{3}a^2}$ sinus anguli GAB (§. 2. *Trigon.*), cujus complementum ad rectum est angulus AEI, sub quo planum ADCB axem IO secat. Sit itaque $a = 10000000$, erit $\tfrac{1}{3}a^2 = 33333333333333$, adeoque $x = 5773502$ cui in tabulis sinuum quam proxime respondent 35° 16′. Est itaque angulus GAB 35° 16, consequenter AEI, qui quæritur, 54° 44′.

SCHOLION 1.

317 *Cum de constructione molendinorum vi venti agitandorum ageremus* (§. 929 Mechan.); *angulum* IEA 54° *graduum fieri præcepimus appendicem minutorum negligentes; in præsente nimirum negotio parum refert, sive is fiat* 54°, *sive* 55°. *Vulgo faciunt* 45°, *sed nulla theoria nixi.*

SCHOLION 2.

318. *Quoniam resistentia, quam patitur corpus intra fluidum motum, æquipollet percussioni eadem celeritate, qua ipsum movetur, a fluido factæ; non absimili modo determinari potest optimus situs gubernaculi, cujus ope naves in aqua convertuntur. Etenim hic quoque angulus obliquitatis idem deprehenditur, qui ante,* 54° 44′.

PROBLEMA 58.

319. *Datis radio basis majoris* AE *&* *altitudine segmenti conici* EF, *invenire altitudinem coni, cujus segmentum* ACDB *ita per fluidum motum, ut basis minor eidem occurrat & axis* EF *sit ad sectionem fluidi perpendicularis, seu horizonti parallelus, minimam patiatur resistentiam.* Tab. VIII. Fig. 81.

RESOLUTIO ET DEMONSTRATIO.

1. Quoniam perinde est, sive aqua in frustum conicum ACDB quiescens impingat, sive ipsum in fluido quiescente moveatur; ponamus aquam in quiescens impingere juxta rectas EG & IH. Impinget ergo in basin CD directe; in superficiem indirecte (§. 269.), eodem semper manente angulo incidentiæ

tiæ HCG vel ACI (§. 156. *Geom.*), quod directiones rectæ IH constanter parallelæ rectam AC in quocunque puncto sub eodem angulo secant (§. 233. *Geom.*). Quodsi jam AC sumatur pro sinu toto, erit AI sinus anguli incidentiæ ACI (§. 2. *Trigon.*). Sit EF = IC = a, AE = b, AI = x; erit AC = $\sqrt{(a^2 + x^2)}$ (§. 417. *Geom.*). Enimvero cum sinus totus quantitas constans esse debeat, sumatur FE pro sinu toto: erit itaque ut AC ad AI ita IC ad sinum anguli incidentiæ, qui adeo reperitur $ax : \sqrt{(a^2 + x^2)}$.

2. Porro patet in rectam AC non plus aquæ impingere, quam ad rectam CL ipsi AI æqualem defertur, adeoque ad totam superficiem non plus aquæ allabi, quam quæ annulum, cujus AI latitudo est, directe percuteret. Percussiones directæ in eodem fluido eadem celeritate lato sunt ut plana, quæ percutiuntur (§. 280.), adeoque annulus exponit percussionem directam ipsius & circulus minor CD percussionem, quam ipse patitur, directam. Et quoniam hic tantummodo attenditur ratio percussionum, circuli autem sunt ut quadrata radiorum (§. 409. *Geom.*); resistentia directa, quam patitur circulus minor CD recte exponitur per CF^2 sive $IE^2 = b^2 - 2bx + x^2$ & resistentia annulli per $AE^2 - EI^2 = 2bx - x^2$.

3. Quodsi jam infertur: ut quadratum sinus totius a^2 ad quadratum sinus anguli incidentiæ $a^2x^2 : (a^2 + x^2)$, ita resistentia directa annuli $2bx - x^2$ ad resistentiam indirectam, quam patitur superficies frusti conici (§. 309); reperietur hæc $(2bx^3 - x^4)(a^2 + x^2)$.

4. Quodsi jam addatur resistentia directa basis minoris $b^2 - 2bx + x^2$ *vi num.* 2. prodibit integra resistentia frusti $b^2 - 2bx + x^2 + \frac{2bx^3 - x^4}{a^2 + x^2} = \frac{a^2b^2 - 2a^2bx + a^2x^2 + b^2x^2}{a^2 + x^2}$.

5. Quoniam resistentia minima, quam istiusmodi frustum patitur, *per hypoth.* differentiale ejus nihilo æquale (§. 63. *Anal. infin.*), adeoque $(-2a^2bdx + 2a^2xdx + 2b^2xdx)(a^2 + x^2) - 2xdx(a^2b^2 - 2a^2bx + a^2x^2 + b^2x^2)$ per $(a^2 + x^2)^2$ div. $= 0$, hoc est

$2a^2b$

$$\frac{2a^2bx^2dx - 2a^4bdx + 2a^4xdx}{(a^2+x^2)^2} = 0$$

$$bx^2 - a^2b + a^2x = 0$$

$$x^2 + \frac{a^2x}{b} = a^2$$

$$x^2 + \frac{a^2x}{b} + \frac{a^4}{4b^2} = a^2 + \frac{a^4}{4b^2}$$

$$x + \frac{a^2}{2b} = \frac{a}{2b}\sqrt{(4b^2+a^2)}$$

$$x = \frac{a}{2b}\sqrt{(4b^2+a^2)} - \frac{a^2}{2b}$$

6. Jam ob IC rectæ EG parallelam *per hypoth.* erit (§. 268. *Geom.*).

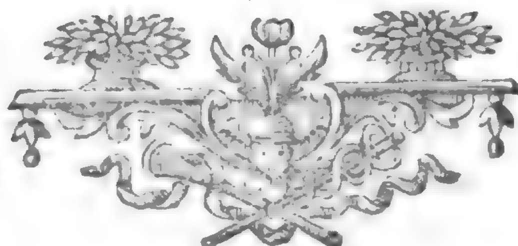
$$AI : IC = AE : EG$$
$$x : a = b : \frac{ab}{x}$$

Ergo $EG = \frac{2ab^2}{a\sqrt{(4b^2+a^2)} - a^2} = \frac{b^2}{\sqrt{(b^2+\frac{1}{4}a^2)} - \frac{1}{2}a.}$

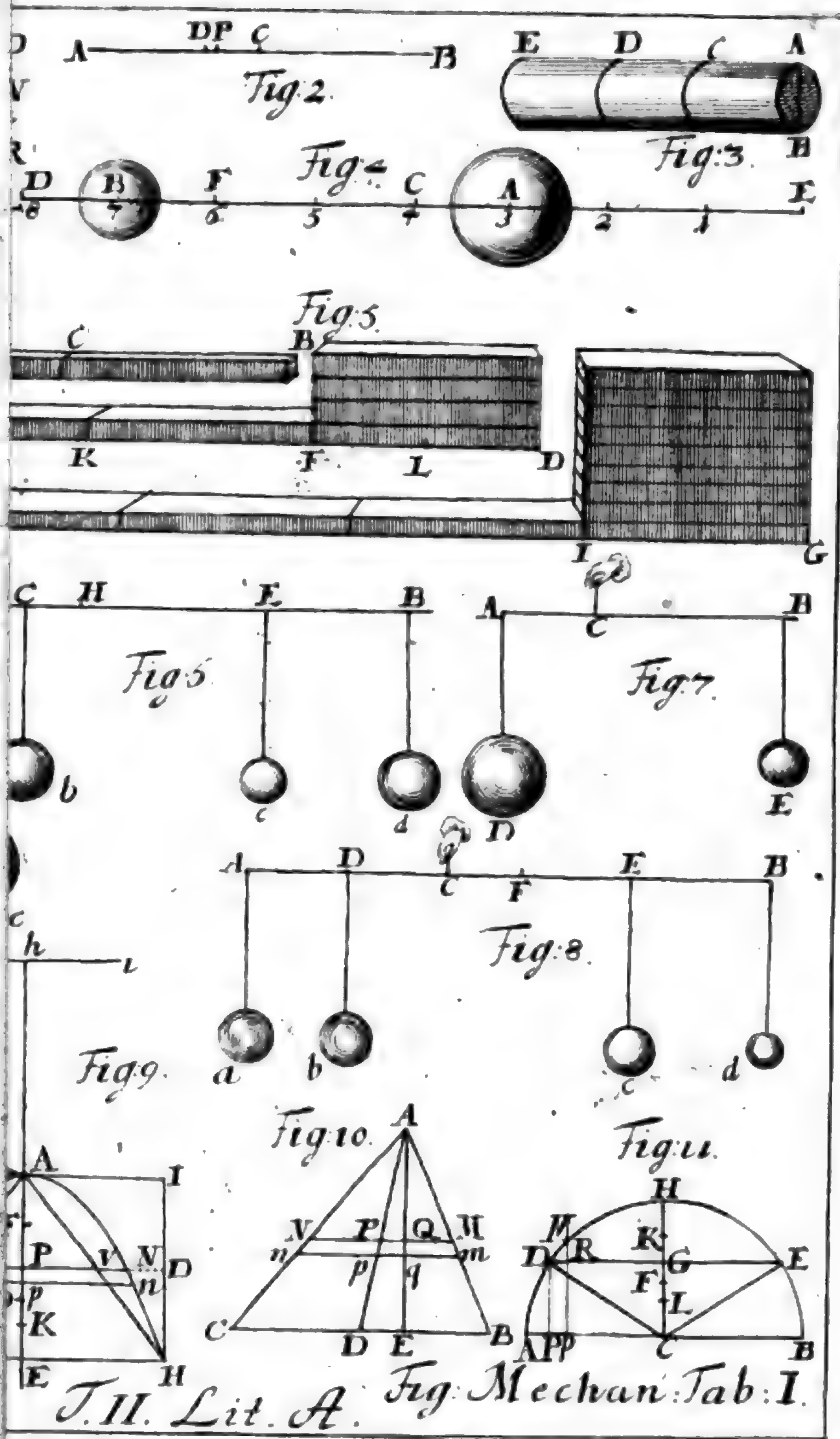
Enimvero $b^2 = \sqrt{(b^2+\frac{1}{4}a^2)} - \frac{1}{2}a$ in $\sqrt{(b^2+\frac{1}{4}a^2)} + \frac{1}{2}a$. Quare si hic valor substituatur; erit $EG = \sqrt{(b^2+\frac{1}{4}a^2)} + \frac{1}{2}a$.

7. Fiat itaque $EO = \frac{1}{2}a$; erit $AO = \sqrt{(b^2+\frac{1}{4}a^2)}$: cui si æqualis fiat OG, erit $EG = \sqrt{(b^2+\frac{1}{4}a^2)} + \frac{1}{2}a$, atque adeo in G vertex coni, cujus frustum ACDB minimam patitur resistentiam, si ea conditione in fluido moveatur, quam fert hypothesis problematis.

FINIS
HYDRAULICÆ ET TOTIUS TOMI II. ELEMENTORUM MATHESEOS.



Digitized by Google



T. II. Lit. A. Fig. Mechan. Tab. I.

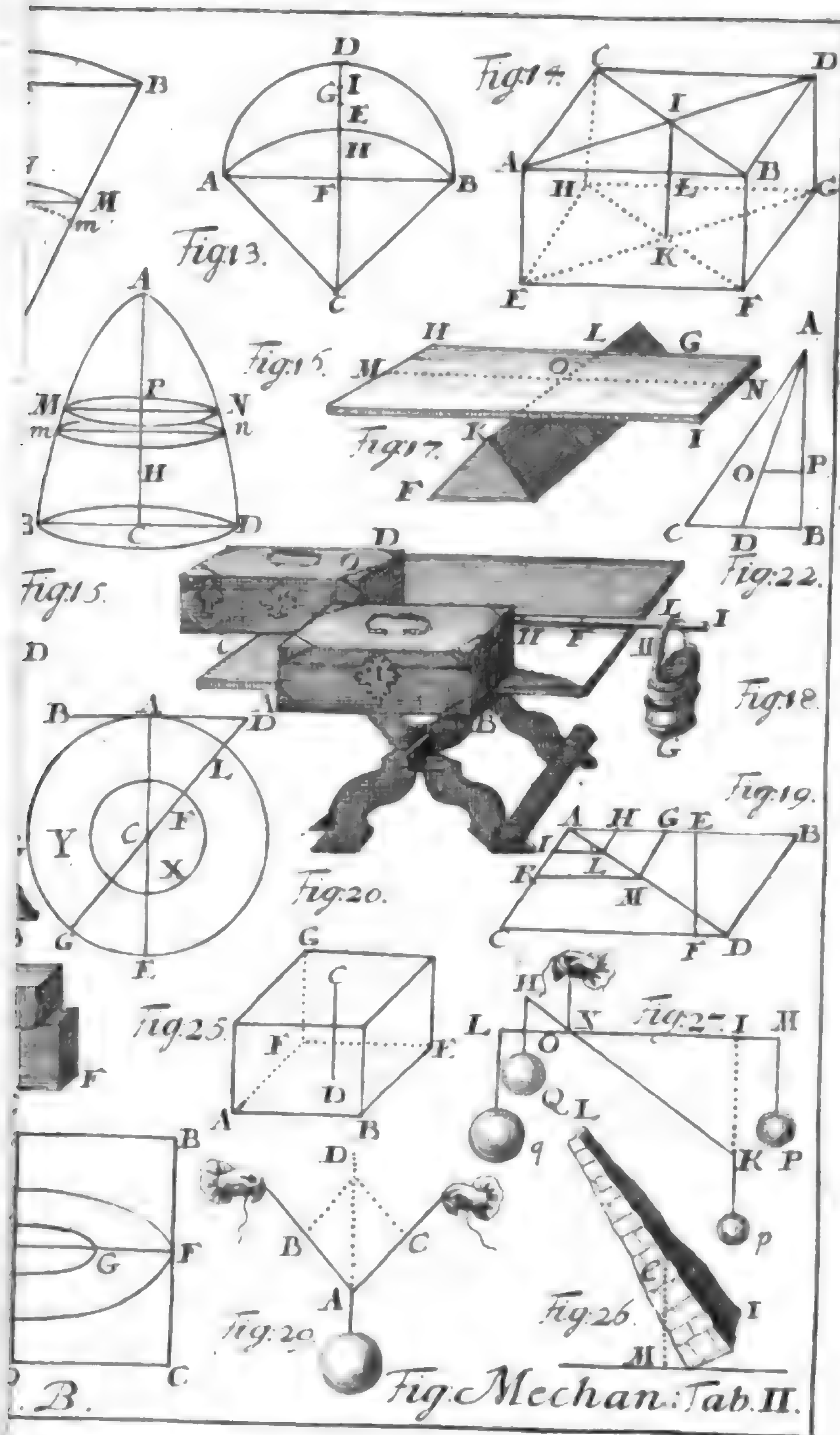
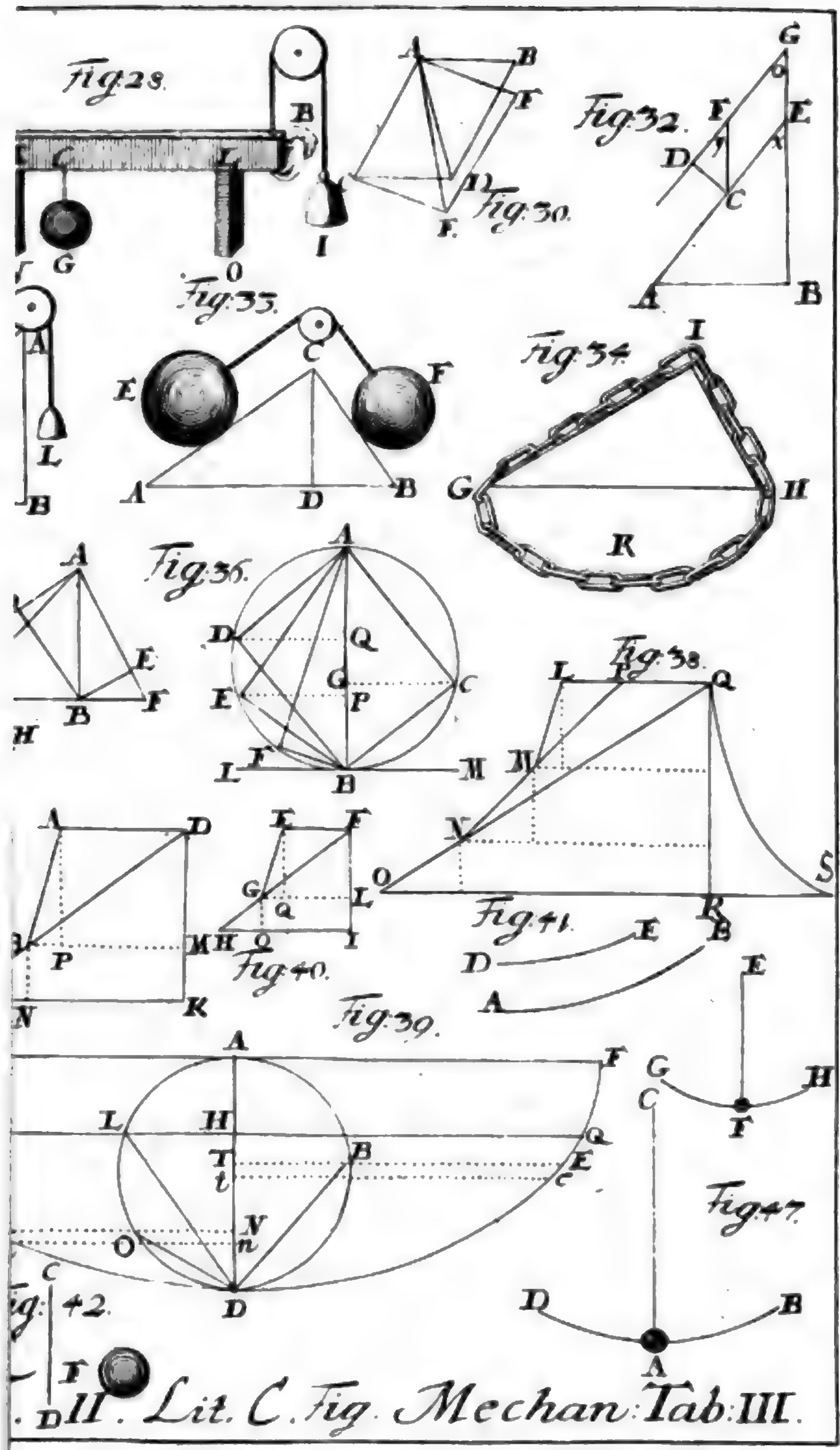


Fig: Mechan: Tab. II.



II. Lit. C. Fig. Mechan: Tab: III.

Digitized by Google

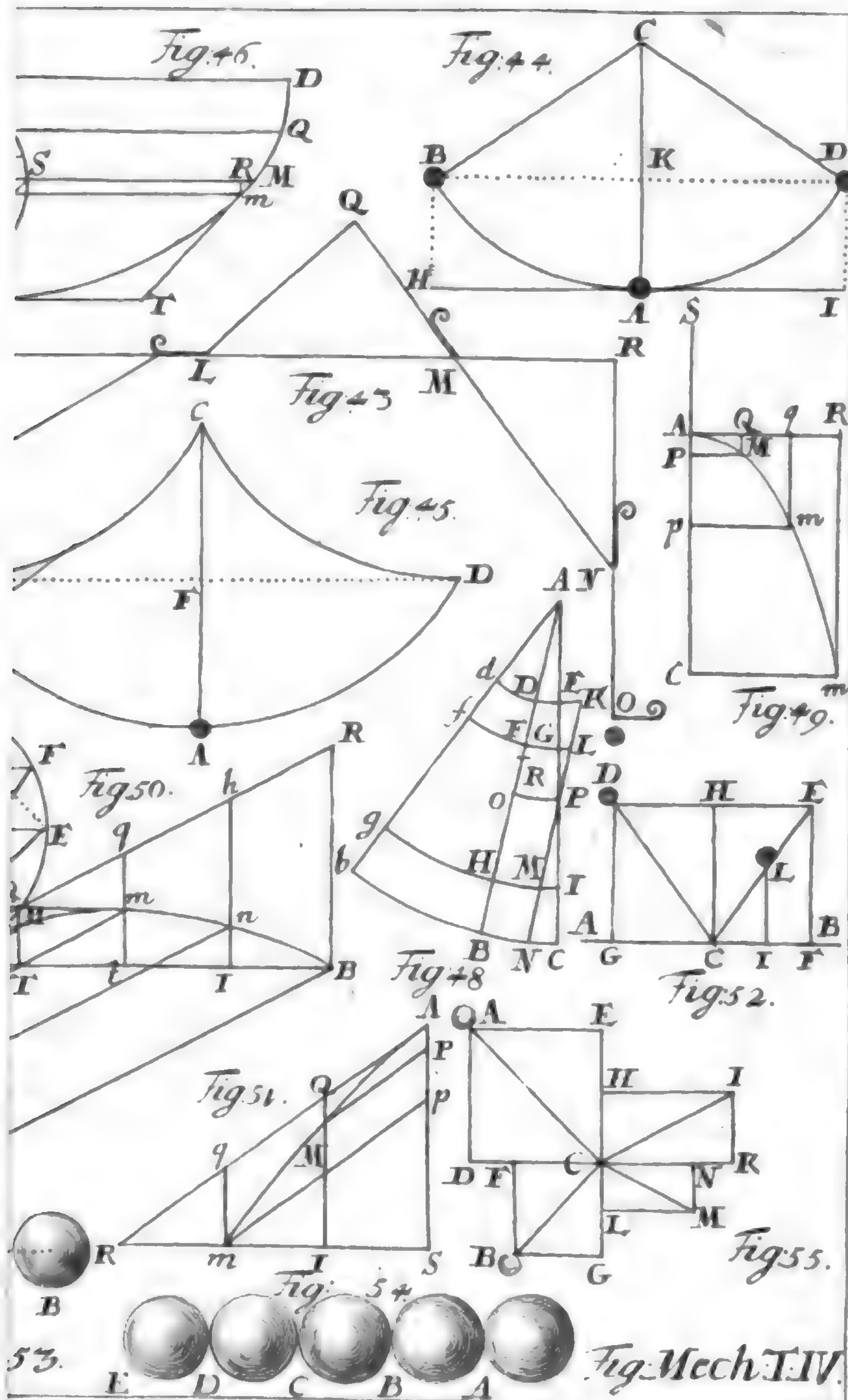


Fig. 46.
Fig. 44.
Fig. 43
Fig. 45.
Fig. 49.
Fig. 50.
Fig. 48
Fig. 52.
Fig. 51.
Fig. 55.
Fig. 54.
53.
Fig. Mech. T. IV.

7.2.

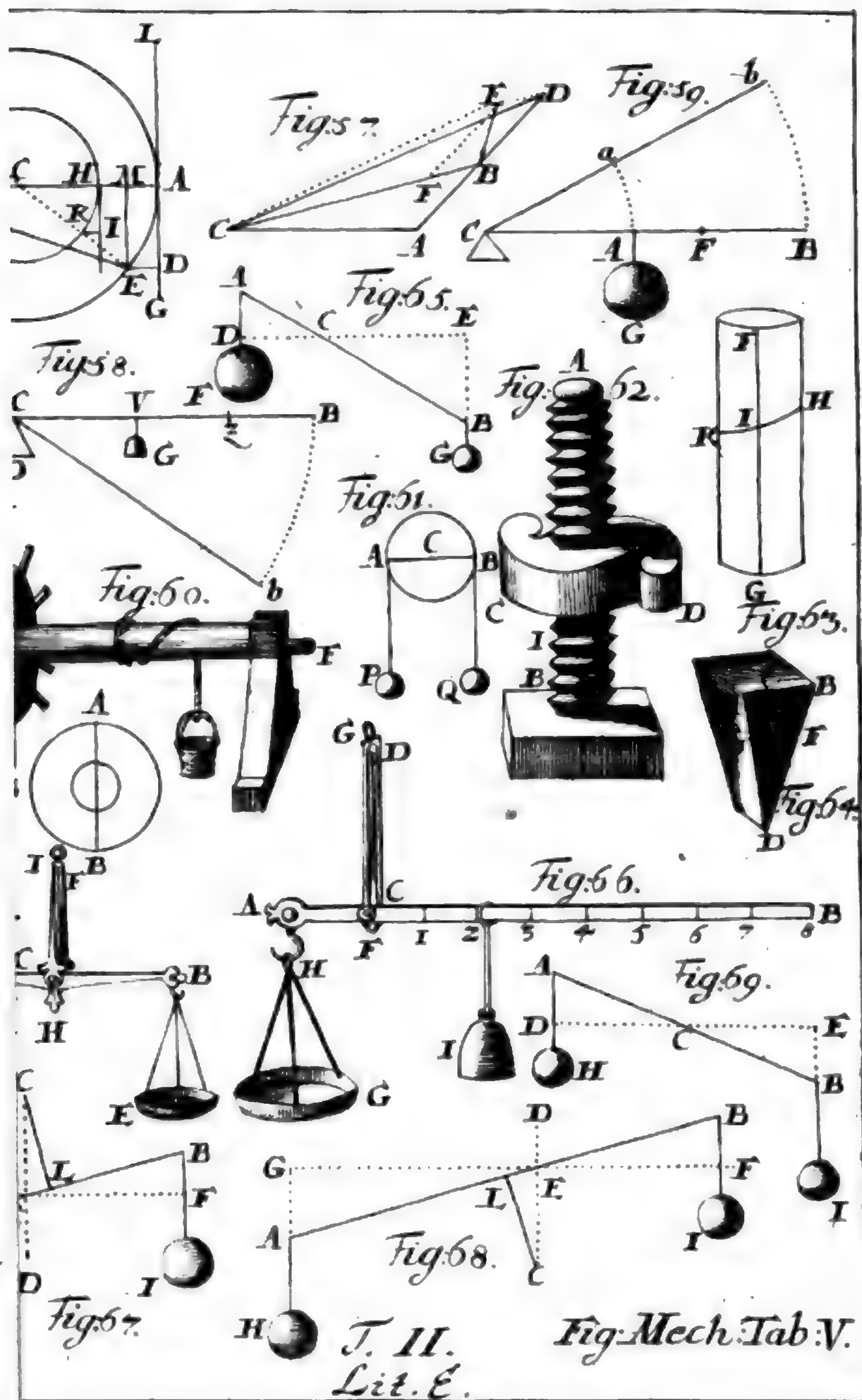
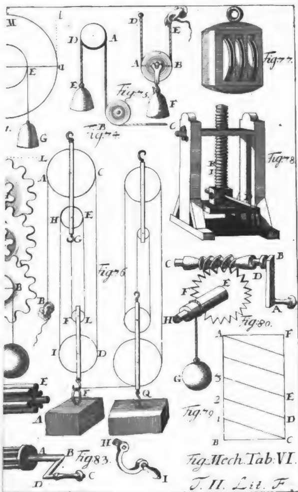


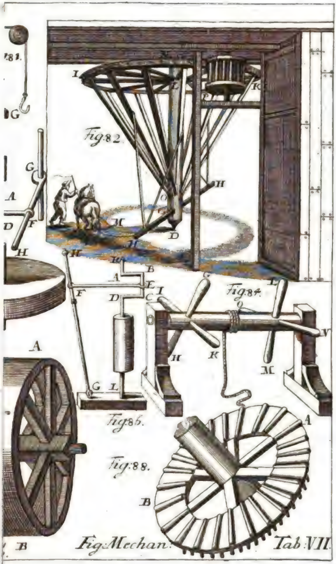
Fig. 57.
Fig. 59.
Fig. 65.
Fig. 58.
Fig. 62.
Fig. 61.
Fig. 60.
Fig. 63.
Fig. 64.
Fig. 66.
Fig. 69.
Fig. 68.
Fig. 67.
T. II.
Lit. E.
Fig. Mech. Tab. V.

T. 2.



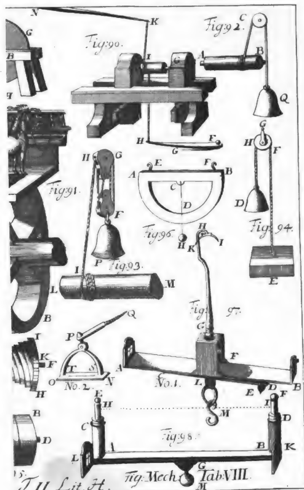
Digitized by Google

Digitized by Google

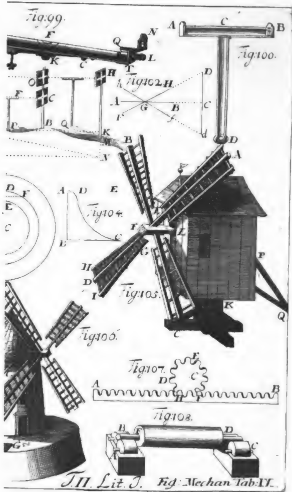


Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

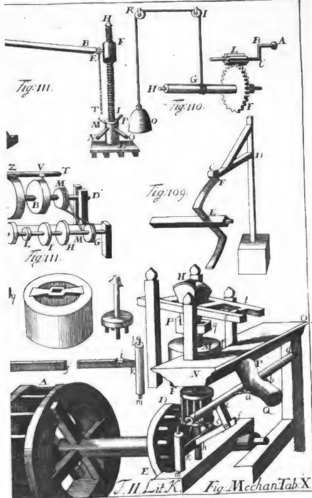
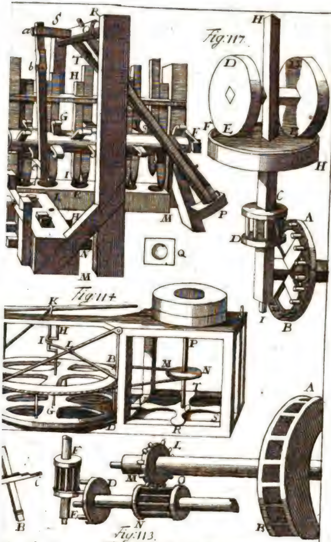
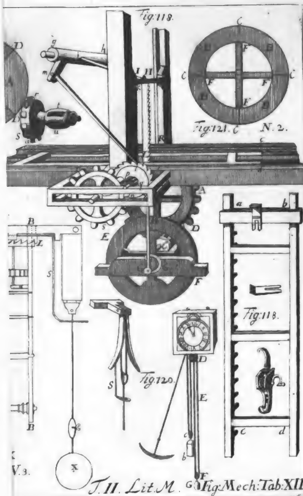


Fig. 111.
Fig. 110.
Fig. 109.
Fig. 111.
T. II. Lit. K.
Fig. Mechan. Tab. X.



t. L. Fig: Mechan: Tab: XI

Digitized by Google



Digitized by Google

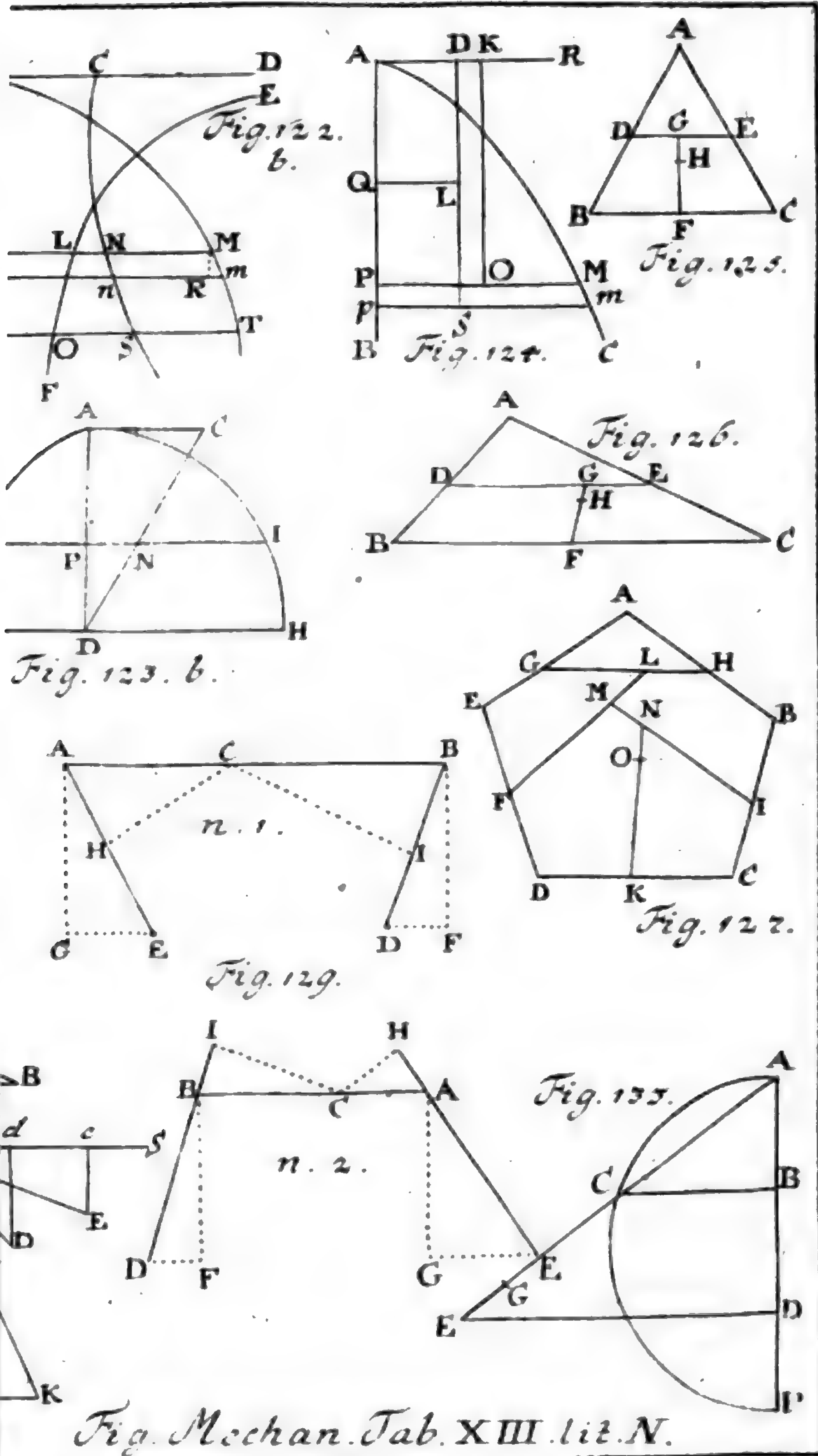
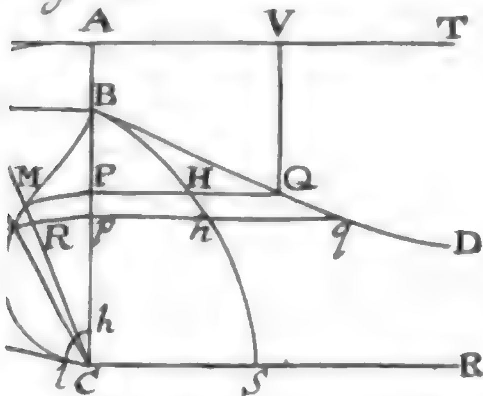
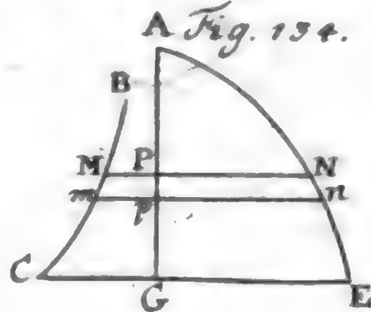
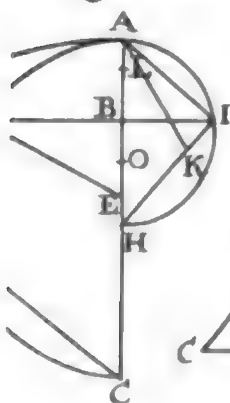


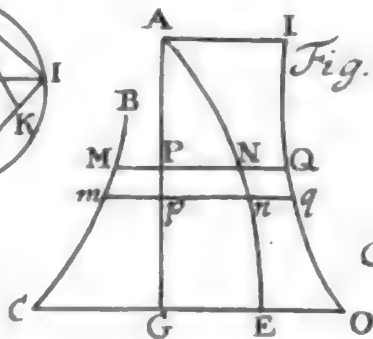
Fig. 122. b.
Fig. 124.
Fig. 125.
Fig. 123. b.
Fig. 126.
Fig. 127.
n. 1.
Fig. 129.
n. 2.
Fig. 133.
Fig. Mechan. Tab. XIII. lit. N.

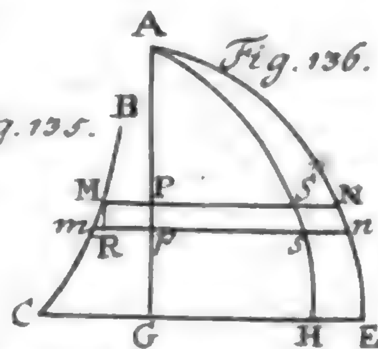
[illegible]

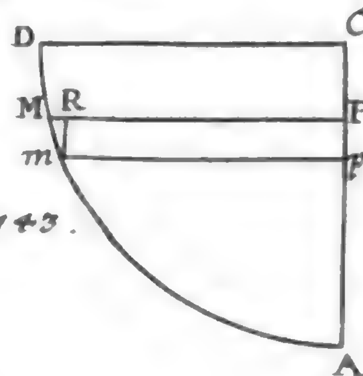


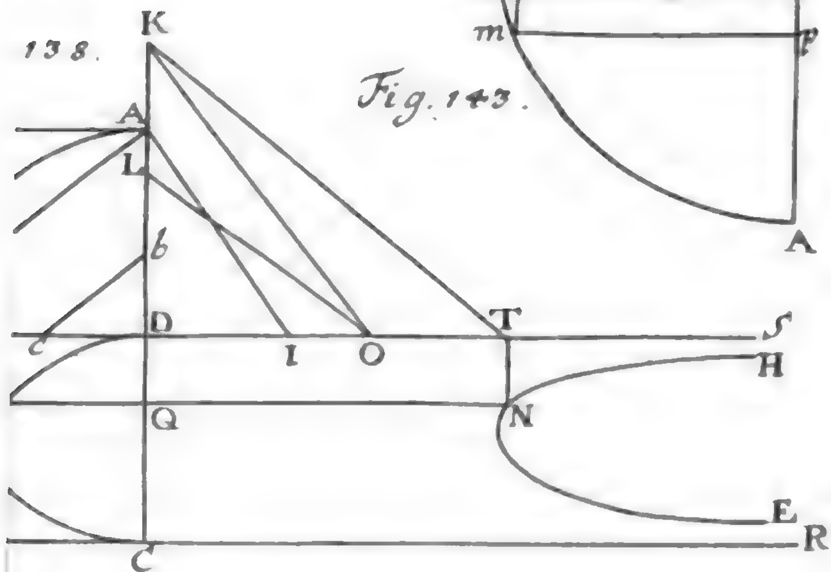












an. Tab. XIV. a. lit. O.

g. 137.

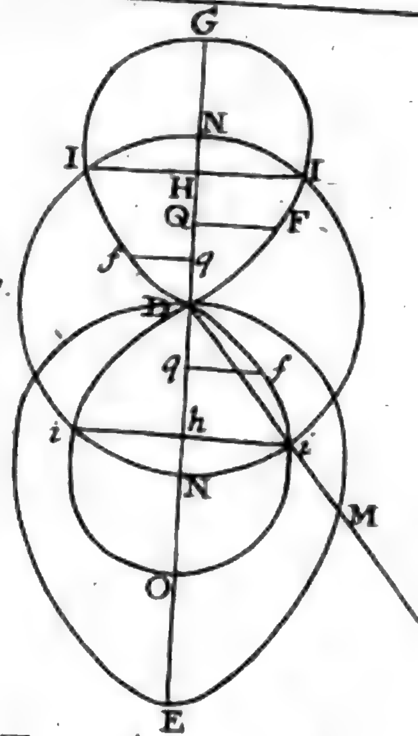


Fig. 139.

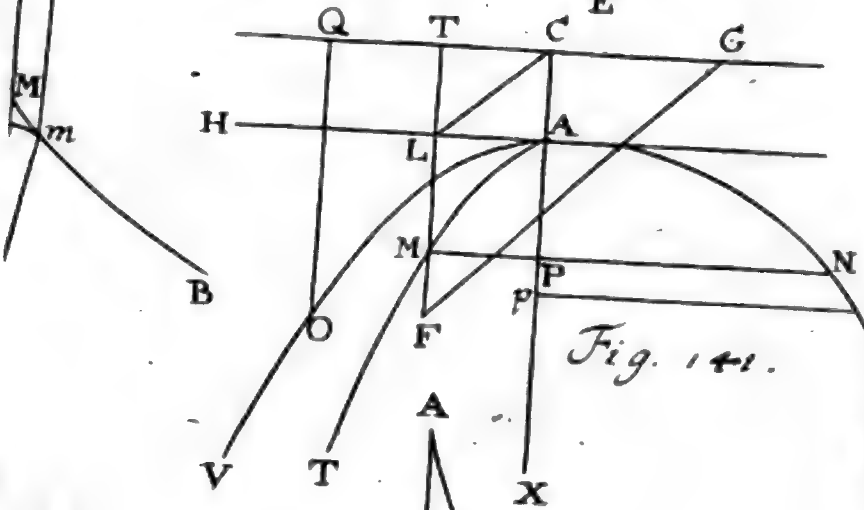


Fig. 141.

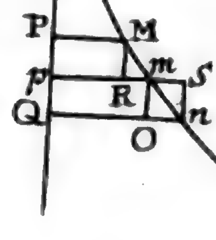


Fig. 144.

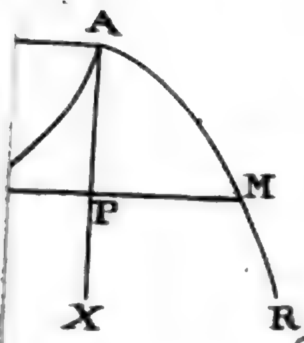
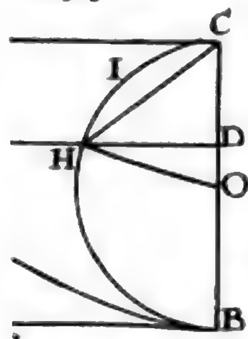
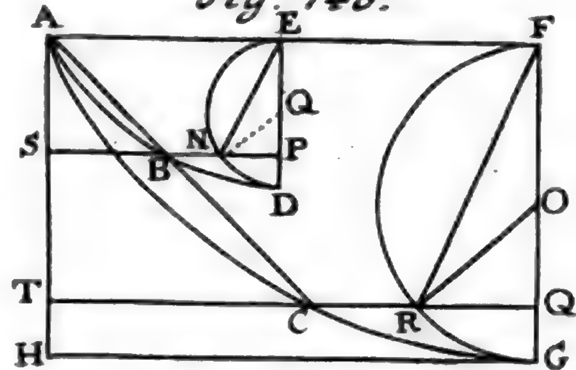
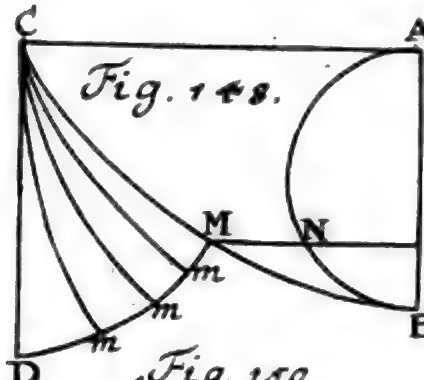


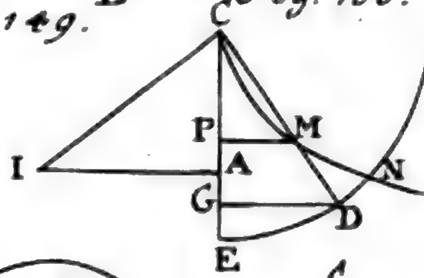
Fig. Mechan. Tab. XIV. b.

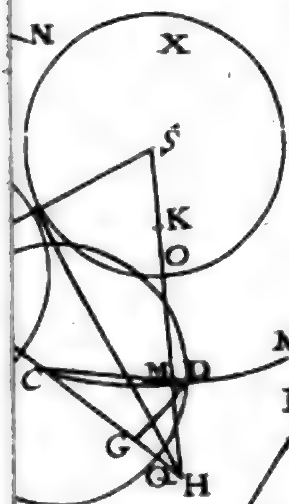
Digitized by Google











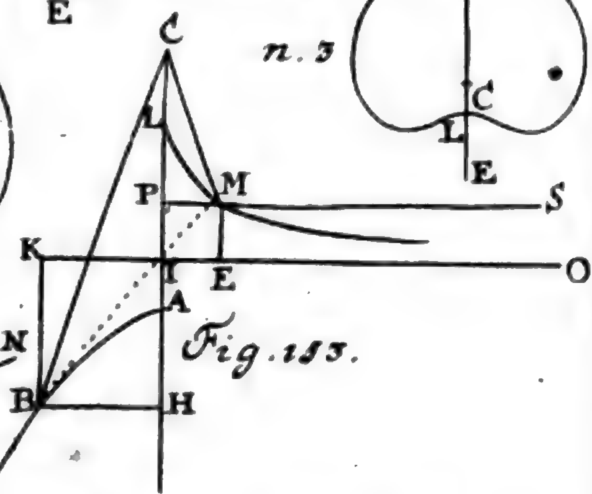
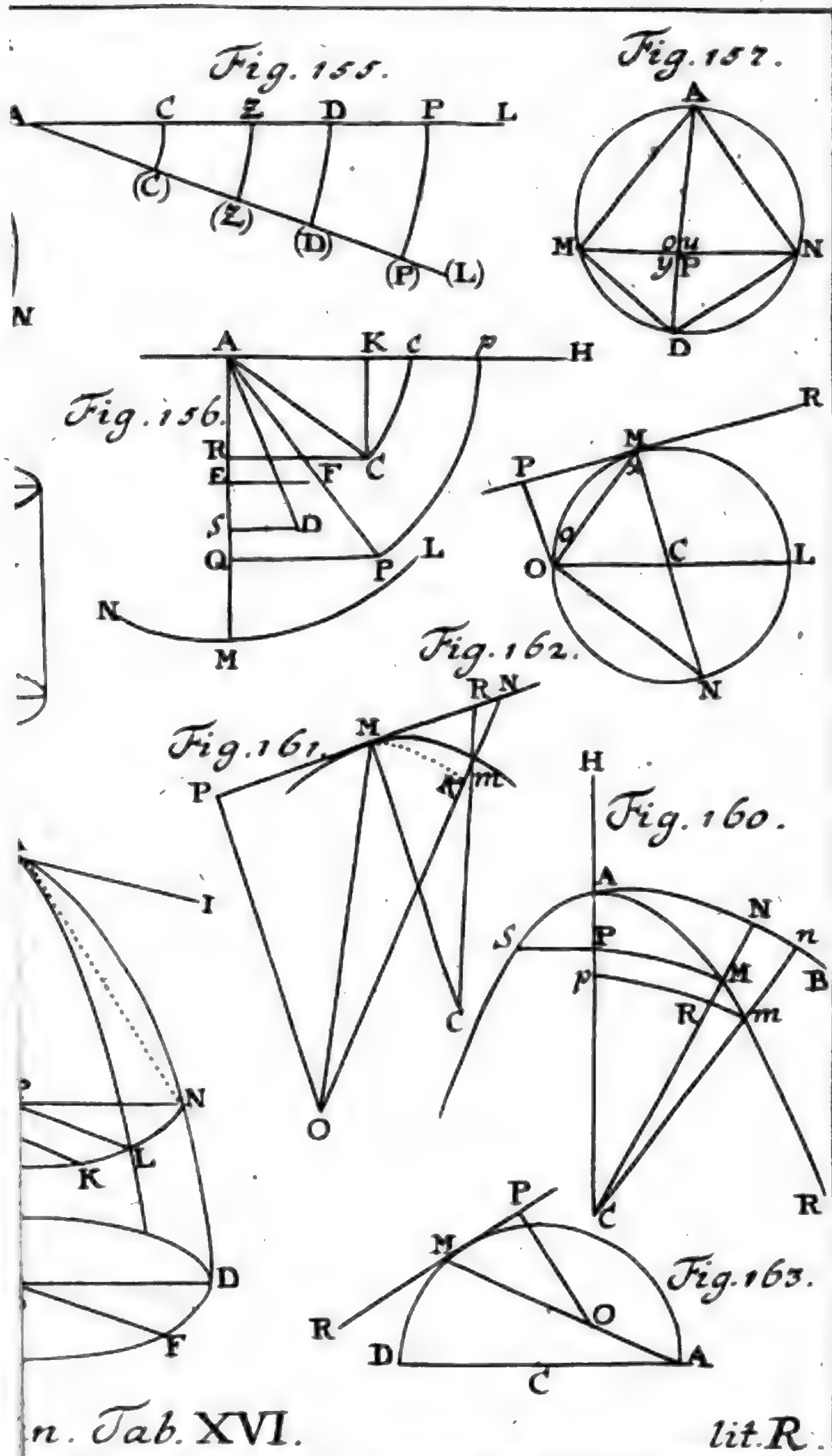


Fig. Mechan. Tab. XV.

Digitized by Google



n. Tab. XVI. lit. R.

Digitized by Google

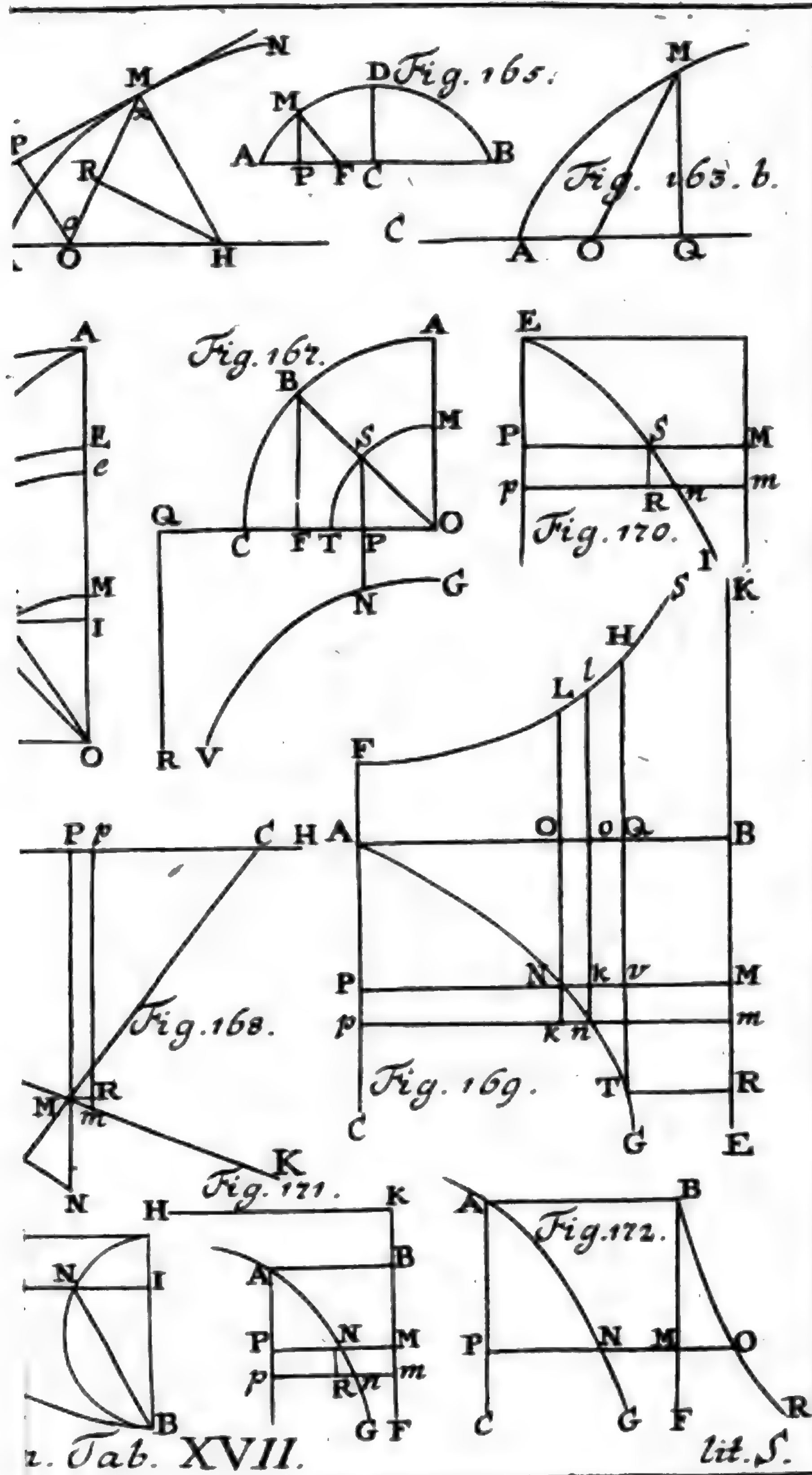
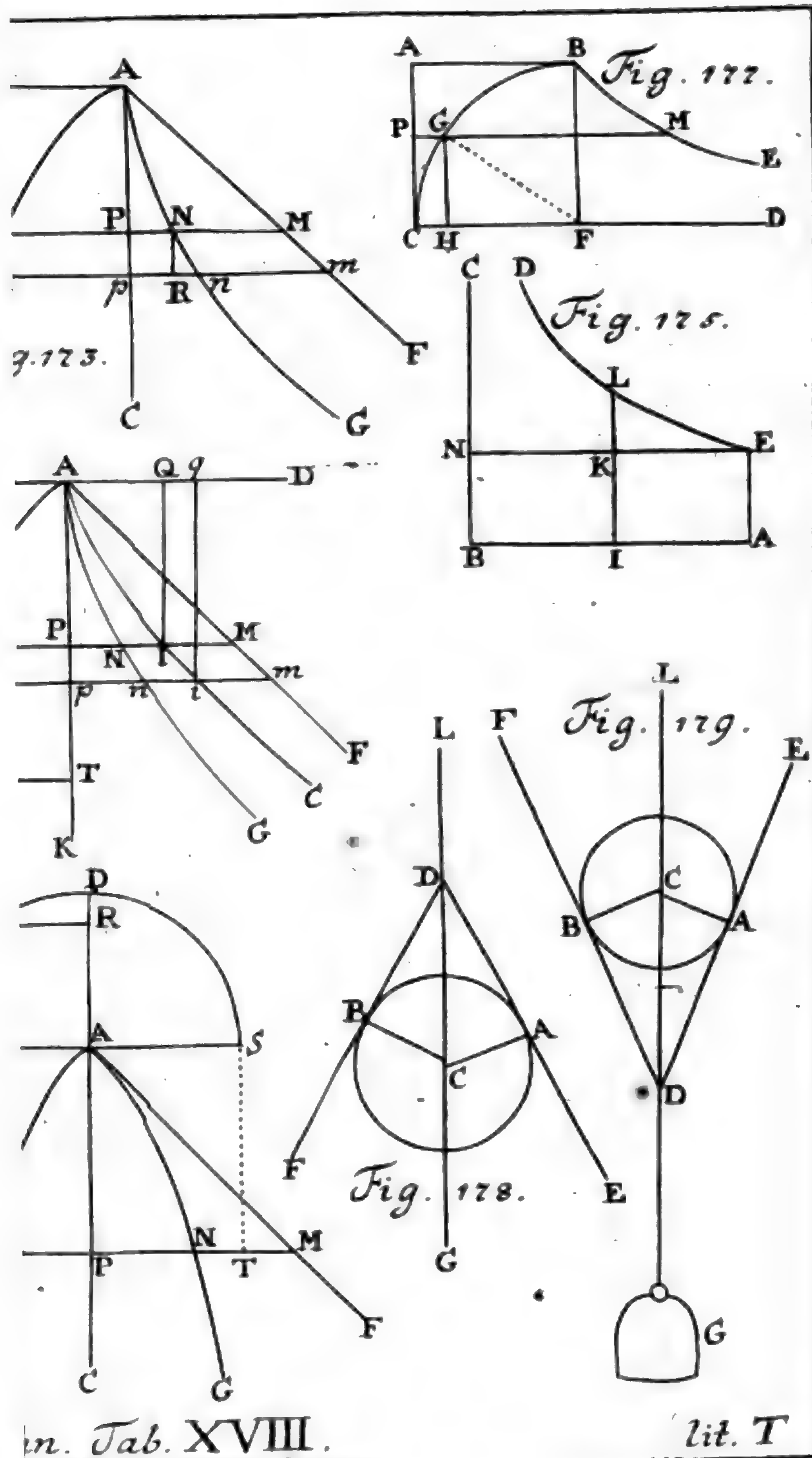


Fig. 165.
Fig. 163. b.
Fig. 167.
Fig. 170.
Fig. 168.
Fig. 169.
Fig. 171.
Fig. 172.
n. Tab. XVII.
lit. S.

Digitized by Google



n. Tab. XVIII. lit. T

Digitized by Google

Digitized by Google

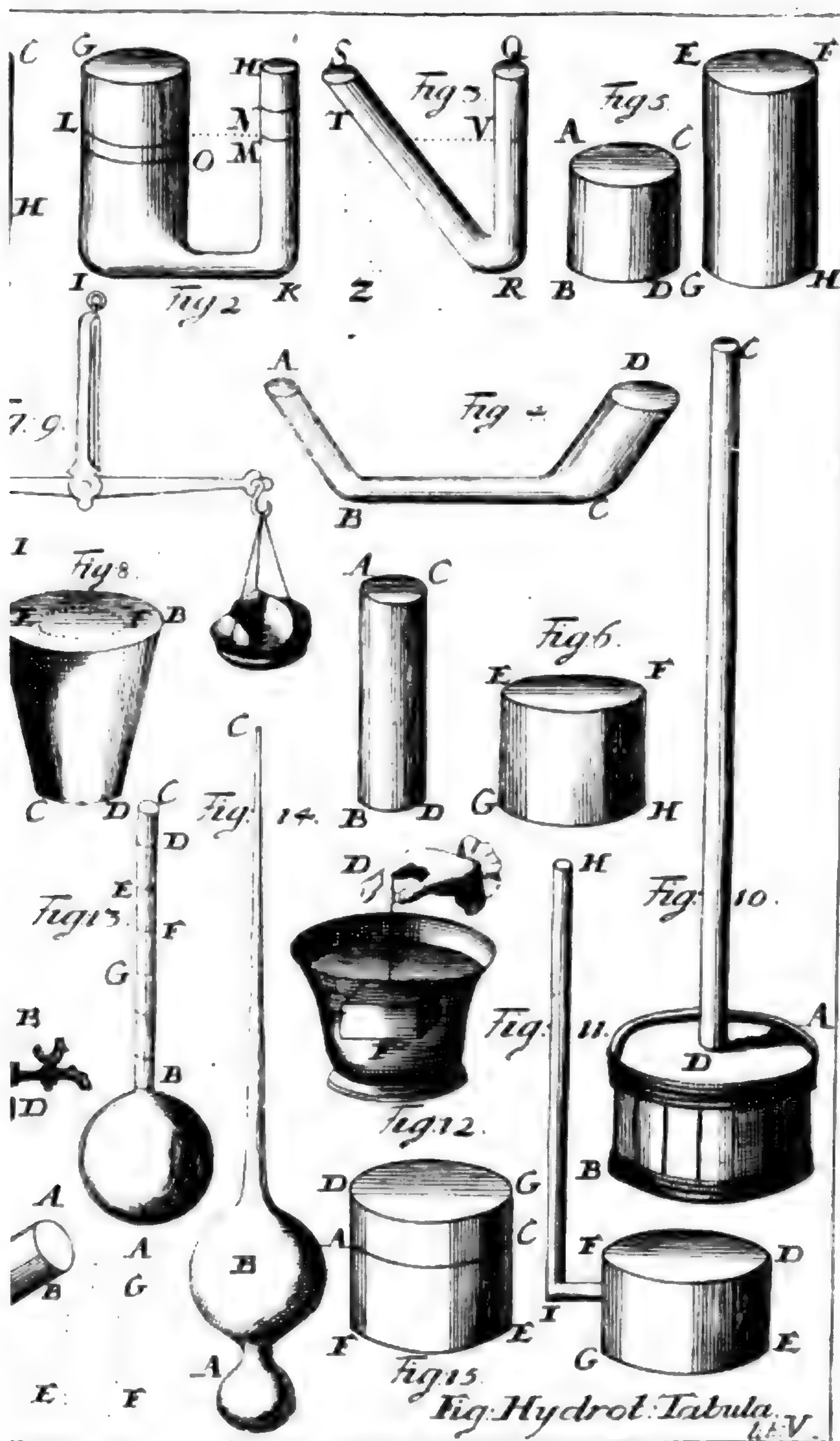


Fig: Hydrot: Tabula. V.

Digitized by Google

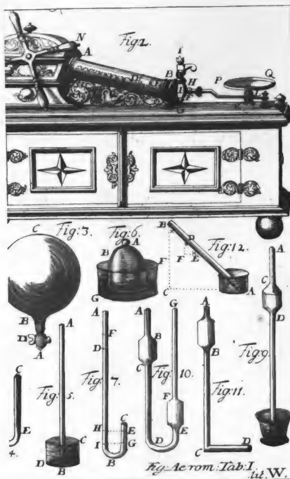
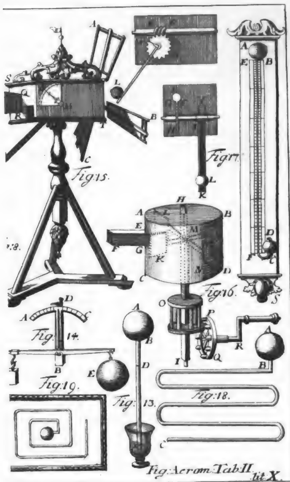


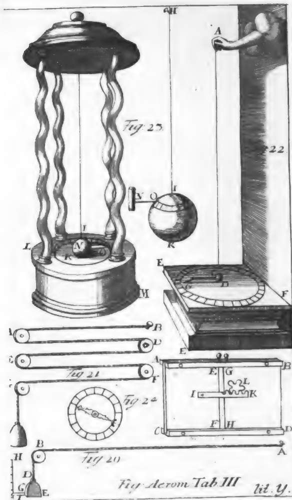
Fig: Aerom: Tab:I. lit.W.

Google

Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

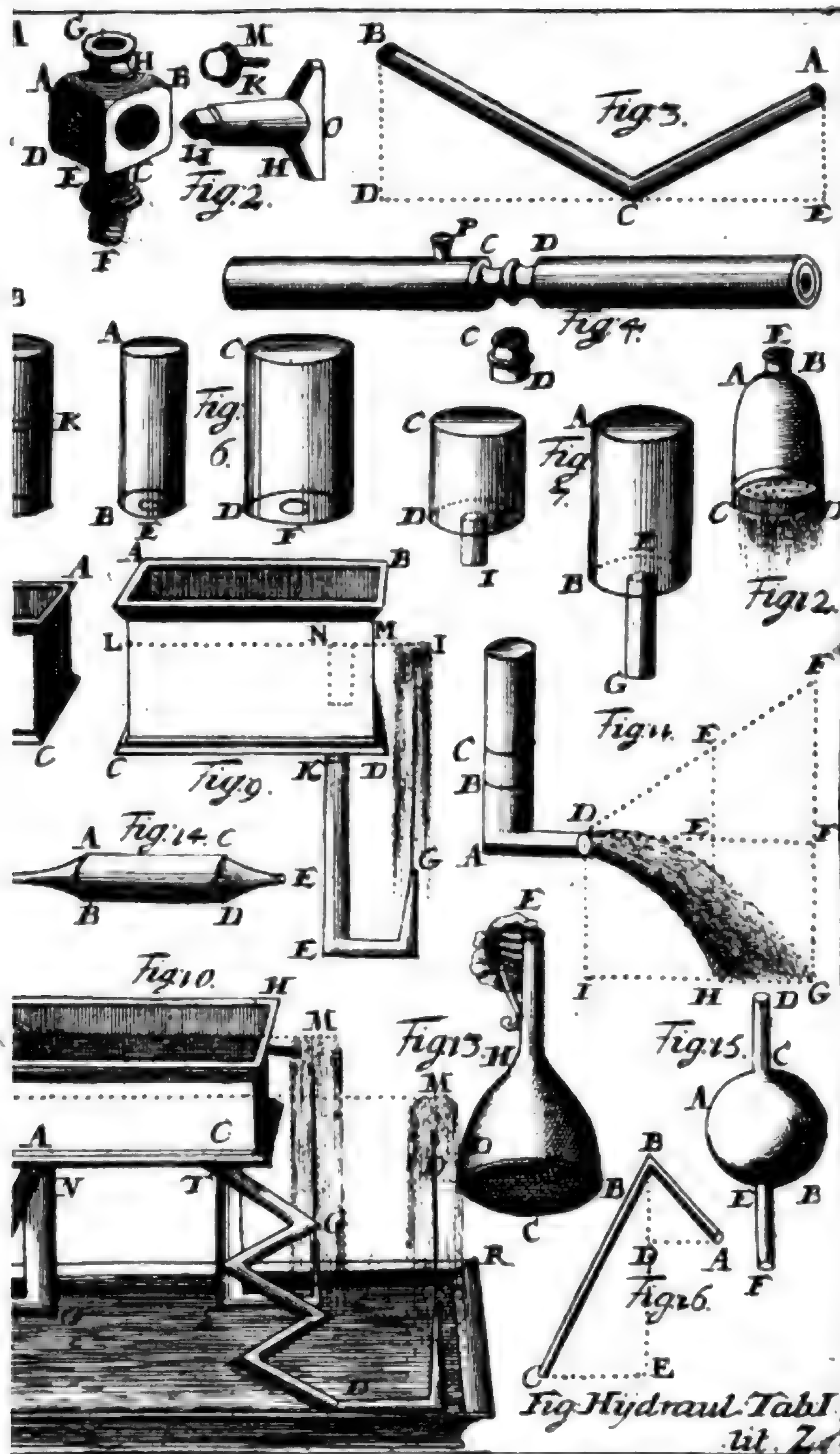
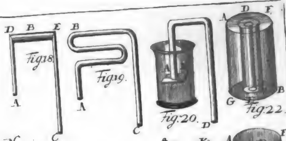
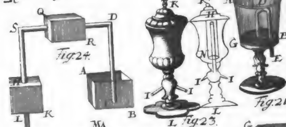


Fig. Hydraul. Tab. I.

Digitized by Google





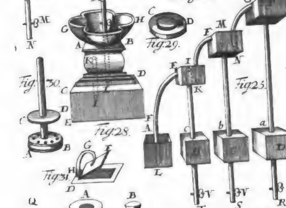
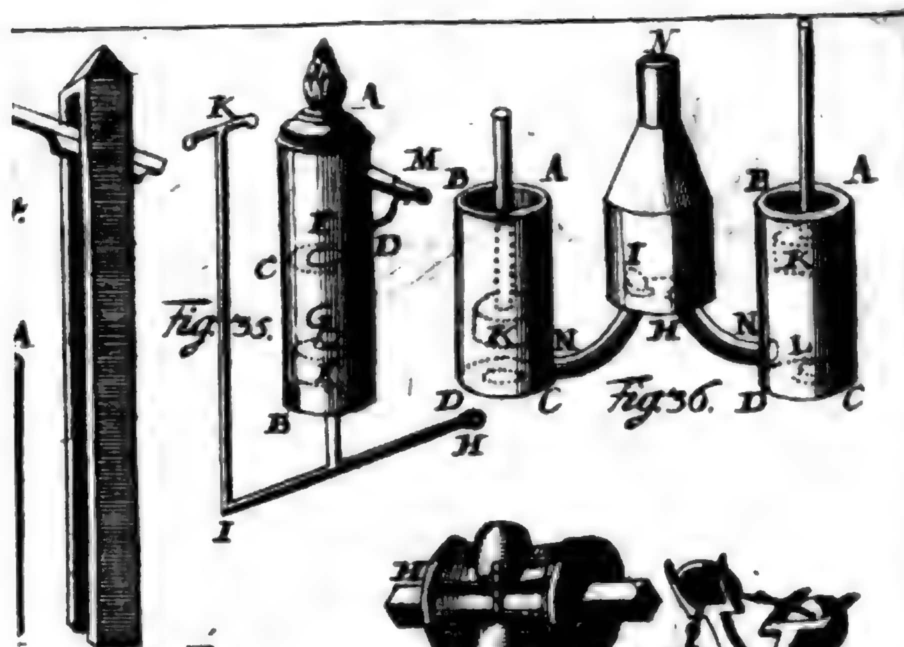
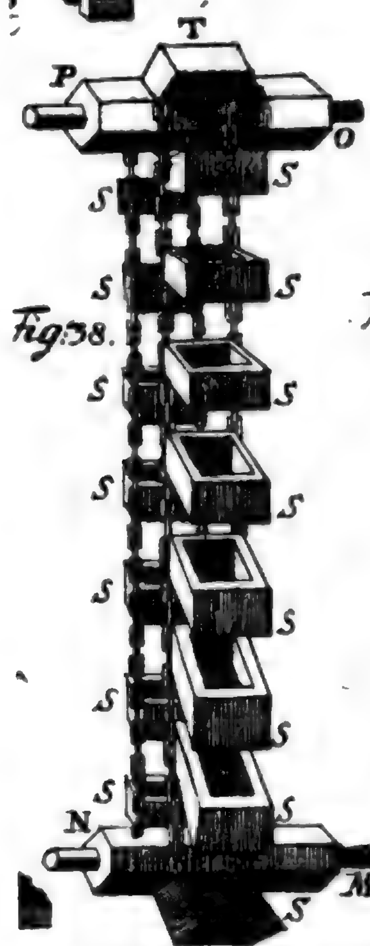


Fig. Hydraul. Tab. II.
lit. A. 2.





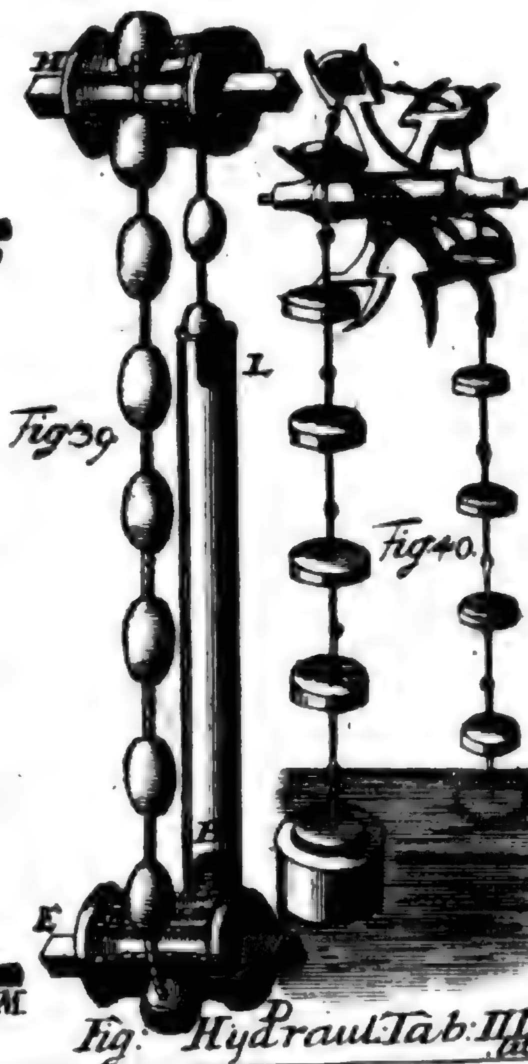
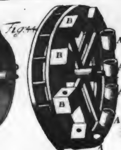
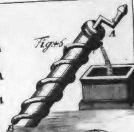
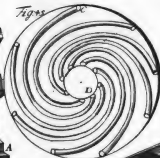
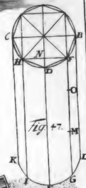


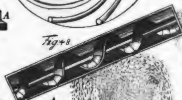
Fig. Hydraul.Tab: III.











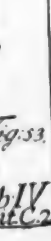


Fig: Hydraul: Tab. IV
lit. C. 2.

Digitized by Google

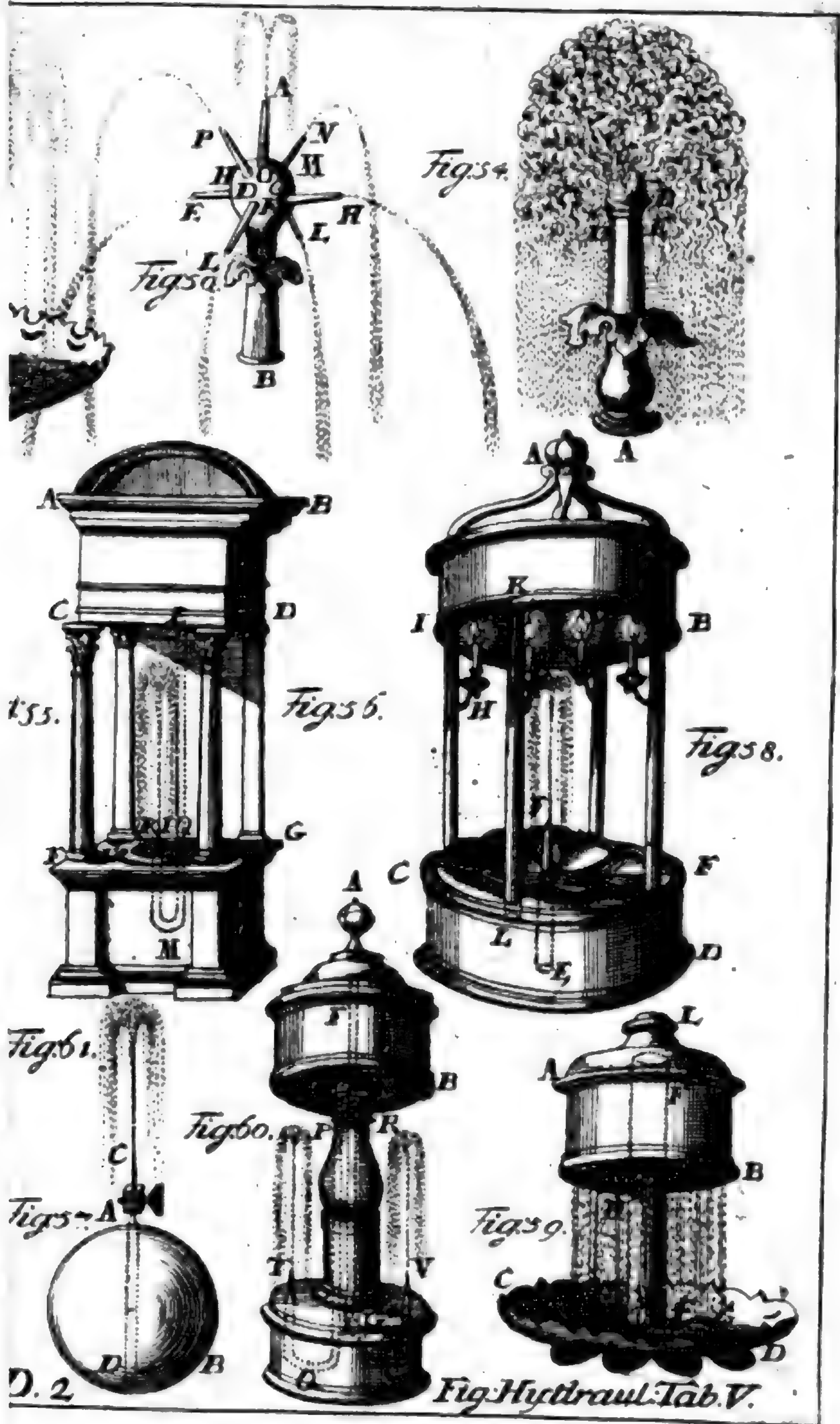


Fig.54.
Fig.52.
Fig.55.
Fig.56.
Fig.58.
Fig.61.
Fig.60.
Fig.57.
Fig.59.
D.2
Fig. Hydraul. Tab. V.

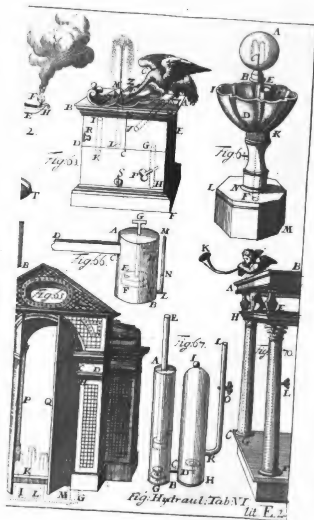
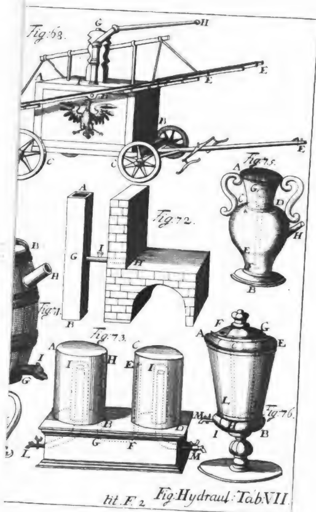
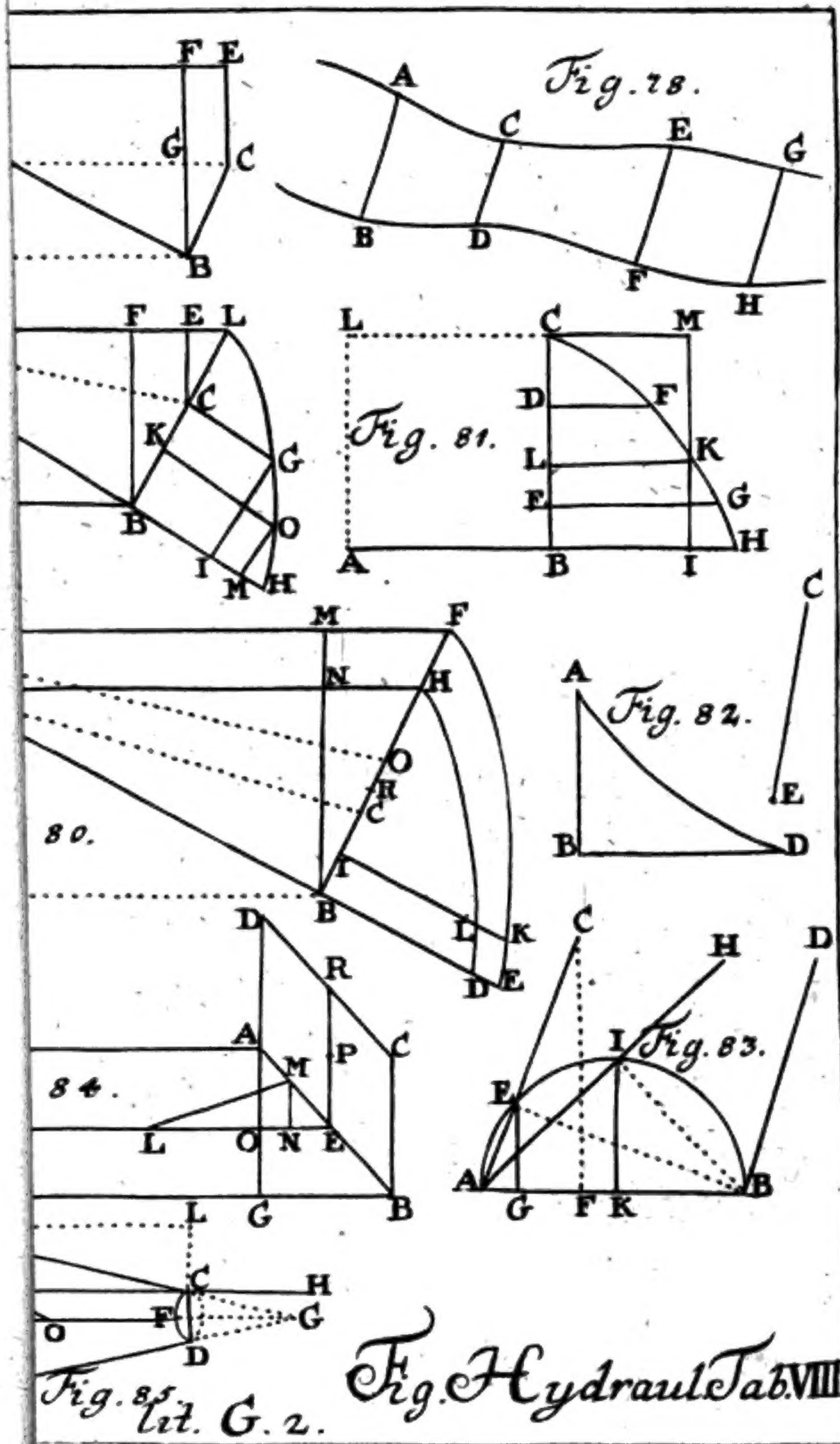


Fig. 63.
Fig. 64.
Fig. 65.
Fig. 66.
Fig. 67.
Fig. 70.
Fig. Hydraul. Tab. VI.
lit. E. 2.

Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google